



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de

Fluidos

Las pérdidas de carga y su influencia económica en el mantenimiento de las tuberías forzadas de las centrales hidroeléctricas Huinco y Matucana

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Rafael Alberto TORRE ORTEGA

Lima, Perú

2012

Referencia bibliográfica

Torre, R. (2012). *Las pérdidas de carga y su influencia económica en el mantenimiento de las tuberías forzadas de las centrales hidroeléctricas Huinco y Matucana*. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico de Fluidos. Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

DEDICATORIA

A Dios, por darnos la vida y estar conmigo en cada momento. A mis padres, por ser el motivo que nos impulsa al éxito. A mis tíos y primos por el animo y la confianza que pusieron en mí.

A mis amigos y mis compañeros de aula que me permitieron cultivar un ambiente de armonía. Y a los ingenieros que me dieron el apoyo y la dedicación brindada.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, quienes me apoyaron en cada decisión y en todo momento.

Esto fue posible primero que nadie, la ayuda de Dios, gracias por otorgarme la sabiduría y la salud para lograrlo.

Gracias a los intercambios y exposiciones de ideas con mis compañeros, amigos de clase y en especial a los ingenieros quienes me guiaron, paso a paso en el desenvolvimiento de este trabajo...

Dios los bendiga.

INDICE

CAPITULO 1

INTRODUCCION

	Pág.
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVO	3
1.4 CONTENIDO	3
1.5 CONCEPTOS FUNDAMENTALES	
1.5.1 Tuberías Forzadas.....	4
1.5.2 Fricción en tuberías.....	14
1.5.3 Perdidas de carga (energía) debidas a la fricción	25

CAPITULO 2

SISTEMA HIDRAULICO DE GENERACION DE EDEGEL S. A. A.

2.1 DESCRIPCIÓN	38
2.2 EMBALSE ANUAL EN LAS LAGUNAS	39
2.3 CAUDALES NATURALES EN LOS RÍOS SANTA EULALIA Y EL RÍO RÍMAC	39
2.4 TABLAS Y GRÁFICOS	41

CAPITULO 3

DESCRIPCION DE LAS TUBERIAS FORZADAS Y SITUACION ACTUAL

3.1 CENTRAL HIDROELÉCTRICA HUINCO	
3.1.1 Descripción de la Central Huinco	49
3.1.2 Descripción de las Tuberías Forzadas	57
3.2 CENTRAL HIDROELÉCTRICA MATUCANA	
3.2.1 Descripción de la Central Matucana	64
3.2.2 Descripción de las Tuberías Forzadas	70

CAPITULO 4

EVALUACION TECNICA

4.1 CENTRAL HIDROELÉCTRICA HUINCO

4.1.1	Cálculo del área de la superficie de las Tuberías Forzadas	72
4.1.2	Pérdidas de carga de las Tuberías Forzadas nueva	79
4.1.3	Estado actual de las Tuberías Forzadas (caliche).....	83
4.1.4	Procedimiento de medición de las pérdidas de carga de las Tuberías Forzadas (Con caliche)	84
4.1.5	Procedimientos efectuados para los cálculos de pérdida de carga (Forma experimental).....	90
4.1.6	Tablas y gráficos obtenidos de la prueba de pérdida de carga	96
4.1.7	Cálculos de las pérdidas de carga usando formulas (Método teórico)	107
4.1.8	Alternativas de mantenimiento de las Tuberías Forzadas	113
4.1.9	Cotización	114
4.1.10	Descripción de la limpieza y pintado de las Tuberías Forzadas	117

4.2 CENTRAL HIDROELÉCTRICA MATUCANA

4.2.1	Cálculo del área de la superficie de las Tuberías Forzadas	134
4.2.2	Pérdidas de carga de las Tuberías Forzadas nueva	136
4.2.3	Estado actual de las Tuberías Forzadas(caliche).....	138
4.2.4	Procedimiento de medición de las pérdidas de carga de las Tuberías Forzadas (Con caliche)	139
4.2.5	Procedimientos efectuados para los cálculos de pérdida de carga (forma experimental).....	141
4.2.6	Tablas y gráficos obtenidos de la prueba de pérdida de carga	147
4.2.7	Cálculos de las pérdidas de carga usando formulas (método teórico)	157
4.2.8	Alternativas de mantenimiento de las Tuberías Forzadas	159

CAPITULO 5

EVALUACION ECONOMICA

5.1	.- PREMISAS	161
5.2	.- BENEFICIOS POR POTENCIA Y ENERGÍA	161
5.3	.- COSTOS DE INVERSIÓN POR MANTENIMIENTO	163

5.4 .- LUCRO CESANTE	164
5.5 .- MÉTODOS DE ANÁLISIS ECONÓMICOS	164
5.6 .- FLUJO DE CAJA	168

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 .- CONCLUSIONES	175
6.2 - RECOMENDACIONES	176

CAPITULO 7

ANEXOS

ANEXO .1.- Tablas de materiales con sus respectivas rugosidades.....	177
ANEXO .2 .- Tablas de materiales, diámetros y sus usos múltiples.....	178
ANEXO .3 .- Fórmulas usadas para el método teórico.....	179
ANEXO .4a.- Fórmulas usadas para el método experimental Huinco.....	180
ANEXO .4b.- Fórmulas usadas para el método experimental Matucana.....	182
ANEXO .5a.- Diagrama de flujo de la formula de Colebrook- White	183
ANEXO .5b.- Programa de la formula de de Colebrook- White (en Visual Basic).....	184
ANEXO .6 .- Tablas de valores de la constantes k para accesorios.....	186
ANEXO .7 .- Diagrama de los valores de la constante K en codos.....	189
ANEXO .8 .- Planos de Huinco	
ANEXO 9 .- Planos de Matucana	

BIBLIOGRAFIA

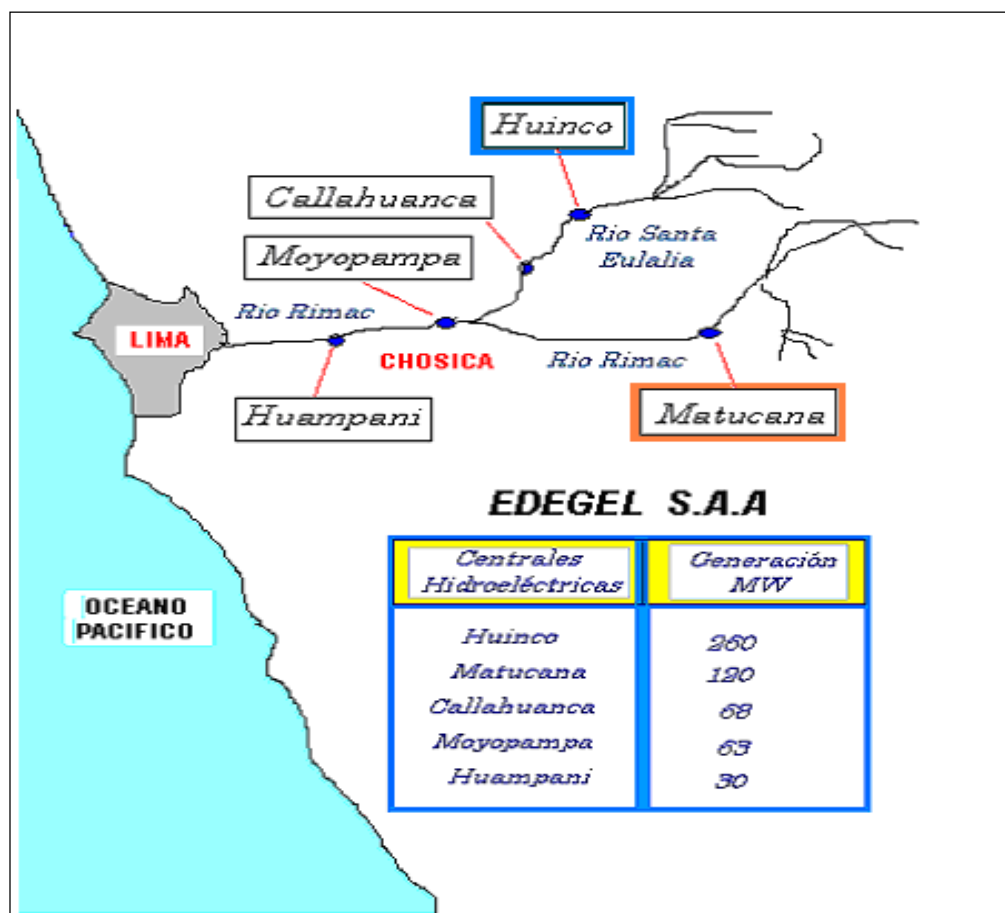
CAPITULO 1

INTRODUCCION

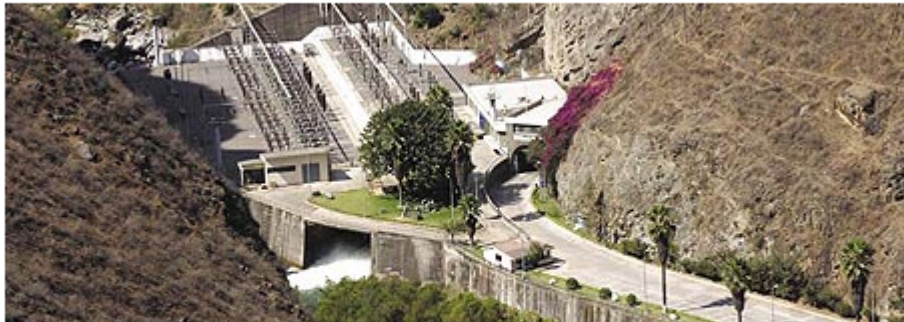
1.1 - ANTECEDENTES

En los años 1964 y 1971 se puso en servicio las Centrales Hidroeléctricas de Huinco y Matucana, respectivamente, Durante este periodo no se han realizado trabajos de mantenimiento interior de las tuberías forzadas, por lo que presentan una gruesa capa de caliche que ha incrementado las pérdidas de carga, disminuyendo la capacidad de generación eléctrica de ambas centrales.

CENTRALES HIDROELECTRICAS DE EDEGEL S. A. A.



Central Huinco



Propiedad : Edegel S. A. A.
Ubicación : 65 Km. al noroeste de Lima
Tipo : Hidraulica de pasada con embalse de regulación (Sheque)
Utiliza las aguas del río Santa Eulalia

Central Matucana



Propiedad : Edegel S.A.
Ubicación : Carretera Central, 64.5 Km. al este de Lima
Tipo : Hidráulica de pasada.
Utiliza las aguas de los ríos Santa Eulalia y Rimac

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dada la falta de mantenimiento de las Centrales Hidroeléctricas Huinco y Matucana, con respecto a la parte interna de las tuberías forzadas, se considera que hay pérdidas de carga, los cuales tienden a reducir el rendimiento y la capacidad de producción de energía.

Por lo cual se desarrolla el proyecto para verificar si es factible, es decir si las pérdidas de carga tiene alguna influencia sobre el mantenimiento de las centrales para lo cual se debe hacer un análisis teórico, económico en los diferentes tramo de tubería y encontrar la mejor alternativa para su ejecución .sin afectar a la empresa

HIPOTESIS Al efectuar el mantenimiento interno de la tubería forzada en los diferentes tramos que presenta, se obtiene un incremento de la producción de energía y la inversión dada se puede recuperar en un corto tiempo.

1.3 - OBJETIVO

El presente estudio tiene como objetivo principal :

Si las pérdidas de carga influyen en la parte económica en el mantenimiento de las tuberías forzadas, para la recuperación de la producción de energía efectiva, para la cual se debe encontrar la mejor alternativa económica para la realización del proyecto.

Los otros objetivos del proyecto son:

- 1.- Medir las pérdidas de carga de las tuberías Forzadas de las Centrales Hidroeléctricas Huinco y Matucana.
- 2.- Comparar los resultados con los cálculos prácticos y cálculos teóricos.
- 3.- Realizar una evaluación técnica y económica preliminar sobre la conveniencia de realizar la limpieza y pintado interior de las Tuberías Forzadas de las Centrales Huinco y Matucana.

1.4 - CONTENIDO

El presente informe contiene un análisis técnico y económico realizado por el bachiller **Rafael Alberto Torre Ortega**, contando con el asesoramiento de los profesionales del Departamento Mecánico Civil de **EDEGEL S.A.A.**, como el Ing. **José García**, Ing. **Carlos Aguilar**, Ing. **José Núñez**, y por el Ing. Civil **Edmundo Rendón Vásquez**, profesor de la **UNMSM** y asesor de la presente tesis.

CAPITULO 1.- Introducción, objetivos y los conceptos básicos de la mecánica de fluidos aplicados sobre tuberías forzadas, como son la fricción, y las pérdidas de carga por rozamiento y por accesorios. , que se evalúan en el proyecto

CAPITULO 2 .- Sistema hidráulico de generación de Edegel S. A. A. se hace una breve descripción del sistema hidráulico para la generación de electricidad, dada por las tres cuencas hidrológicas de las cuales escurren los Ríos Santa Eulalia y Rímac, y cuyos caudales mueven en cascada las turbinas de las Centrales Huinco, Matucana, Moyopampa, Callahuanca y Huampani.

Las tres cuencas hidrológicas mencionadas cuyas áreas están entre los 2,000 y 5,000 m. s. n. m.

CAPITULO 3 .- Descripción de las centrales y de las tuberías forzadas, se hace una breve descripción de las tuberías forzadas, siendo el principal objetivo encontrar el área superficial interna total de las tuberías forzadas de la Central Huinco y Matucana.

CAPITULO 4 .- evaluación técnica, Se hace un análisis sobre la presencia de caliche en la parte interna de las tuberías forzadas, la cual afecta grandemente a disminuir el área de conducción de agua y por lo cual hay pérdidas de carga. Se realiza una comparación de los dos métodos: teórico, mediante planos y práctico mediante pruebas realizadas por el área de mantenimiento mecánico, y para obtener las pérdidas de carga y su incremento en los diferentes periodos de prueba.

Se evalúan las mejores alternativas de trabajo sobre el pintado y limpieza de las tuberías forzadas tanto en Huinco como en Matucana.

CAPITULO 5 .- Evaluación económica, Se hace un análisis de los costos asociados a las alternativas y del Beneficio – Costo, para evaluar la factibilidad económica de las mismas y seleccionar la más conveniente.

CAPITULO 6 .- Conclusiones, se incluye las recomendaciones más relevantes para la implementación de la alternativa elegida en cada una de las Centrales Hidroeléctricas.

CAPITULO 7 .- Anexos, se incluye las características de las pinturas a usar, cuadros, diagramas, para diferentes rugosidades, conceptos básicos de pérdidas de carga y las formulas usadas.

Bibliografía,

.

1.5- CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.5.1.- TUBERÍAS FORZADAS

a.- CONCEPTO

Las tuberías a presión son aquellas que funcionan a plena sección y en las que el movimiento del líquido se debe a la presión reinante en el interior, pudiendo presentar, por tanto, pendientes y contrapendientes.

La circulación en conductos cerrados puede presentar los regímenes laminar y turbulento. Teniendo en cuenta que por economía, capacidad constructiva y tecnológica de las zonas aisladas en países en vías de desarrollo en que se pretende acometer el presente proyecto, la tendencia natural sería la de diseñar tuberías forzadas de diámetro pequeño y con mayor caudal.

Por lo cual en tuberías forzadas siempre el flujo es de régimen turbulento.

A continuación los perfiles de velocidades de ambos tipos de flujo:

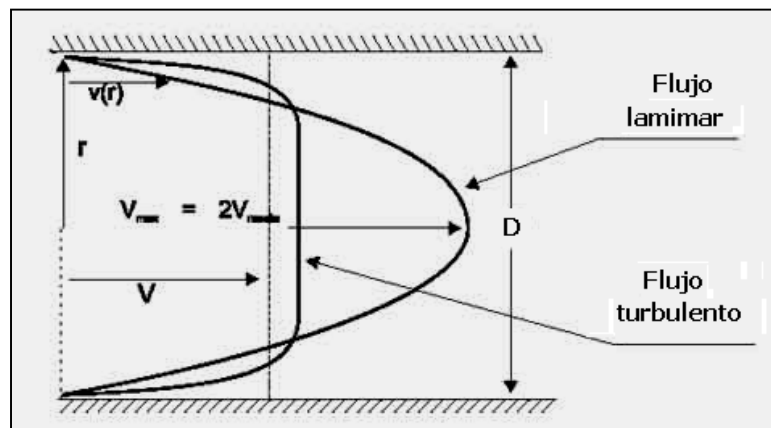


FIGURA 1

Perfil de velocidades con flujo laminar y flujo turbulento

Se ha encontrado experimentalmente que, en un fluido que circula por un tubo de sección circular y paredes lisas, la transición de flujo laminar a flujo turbulento ocurre aproximadamente cuando Re alcanza el valor 2000.

En realidad esta transición no siempre ocurre exactamente para $Re = 2000$, sino que varía con las condiciones en que se realiza el experimento, de forma que más que un punto de transición lo que realmente existe es una zona de transición.

$$Re = \frac{\rho D Vel}{\eta} = \frac{D Vel}{\nu} \quad \dots (1)$$

Re = Número de Reynolds, D = Diámetro,
 Vel = Velocidad, ρ = Densidad,
 η = Viscosidad ν = Viscosidad

Si acudimos directamente a los estudios empíricos, se tienen expresiones que permiten deducir que la resistencia al paso de un flujo por un tubo es:

- Independiente de la presión del agua
- Linealmente proporcional a su longitud
- Inversamente proporcional a una potencia determinada del diámetro
- Proporcional a una potencia determinada de la velocidad
- Está influida por la rugosidad de las paredes si el régimen es turbulento.

Una fórmula que es muy utilizada para la circulación en canales abiertos, y también es aplicable para la circulación en tuberías, es la desarrollada por Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \frac{A^{5/3} S^{1/2}}{P_m^{2/3}} \quad \dots (2)$$

Q = Caudal,

A = Área,

n = Coeficiente de rugosidad de Manning,

P_m = Perímetro mojado en metros,

S = Gradiente hidráulico, o pérdida de carga por metro lineal.

Aplicado a un tubo de sección circular, lleno.

$$S = \frac{10.29 n^2 Q^2}{D^{5.33}} \quad \dots (3)$$

TABLA 1

Valores experimentales de Manning, (**n**) para diferentes tubos.

TIPO DE TUBO	n
Tubería de acero soldado	0.010
Tubería de polietileno PE	0.009
Tubería de PVC	0.009
Tubería de Uralita	0.011
Tubería de hierro dúctil	0.015
Tubería de hierro fundido	0.014
Tubería de duelas de madera creosotadas	0.012
Tubería de hormigón colado	0.014

El diámetro es el resultado de un compromiso entre costo y pérdida de carga.:

La potencia de una central hidroeléctrica se mide generalmente en Megavatios (MW) .

Se calcula mediante la fórmula genral:

$$Pot = \rho \ g \ Q \ H \ \eta_{Turb} \ \eta_{Mec} \ \eta_{Generador} \ \dots (4)$$

$$Pot = 9.81 \ Q \ H \ \eta_{Turb} \ \eta_{Mec} \ \eta_{Generador}$$

Donde:

Q = Caudal turbinado en m³/s

Pot = Potencia en Kilowatts (W)

H = Desnivel disponible en la presa entre aguas arriba yaguas abajo,
en metros (m)

$\eta_{Generador}$ = Rendimiento del generador eléctrico (entre 0,92 y 0,97)

η_{Turb} = Rendimiento la turbina hidráulica (entre 0,75 y 0,90)

η_{Mec} = Rendimiento mecánico del acoplamiento turbina alternador
0,95 y 0.99

ρ = densidad del fluido en kg/m³

g = gravedad = 9.8 cm/seg²

El salto neto se obtiene deduciendo del bruto, la suma de todas las pérdidas de carga, incluidas las generadas por fricción y turbulencia en la tubería forzada, ambas proporcionales al cuadrado de la velocidad de la corriente.

Para transportar un cierto caudal, una tubería de pequeño diámetro necesitaría más velocidad de corriente que otra de mayor diámetro, y consecuentemente las pérdidas serán más elevadas.

Escogiendo un diámetro pequeño se reduciría su costo pero las pérdidas de energía serían mayores y viceversa.

Un criterio simple para determinar el diámetro de una tubería, es el de limitar las pérdidas de carga a un determinado porcentaje del salto bruto. Un enfoque más riguroso exigiría considerar varios diámetros posibles, calcular la pérdida anual de energía en cada uno de ellos, y actualizarlas a lo largo de la vida del aprovechamiento. De esta forma se puede dibujar un gráfico con la curva diámetros pérdidas actualizadas, al que se superpone el coste para cada diámetro. Se suman gráficamente ambas curvas y el diámetro óptimo sería el mínimo de la curva resultante. (FIGURA 2).

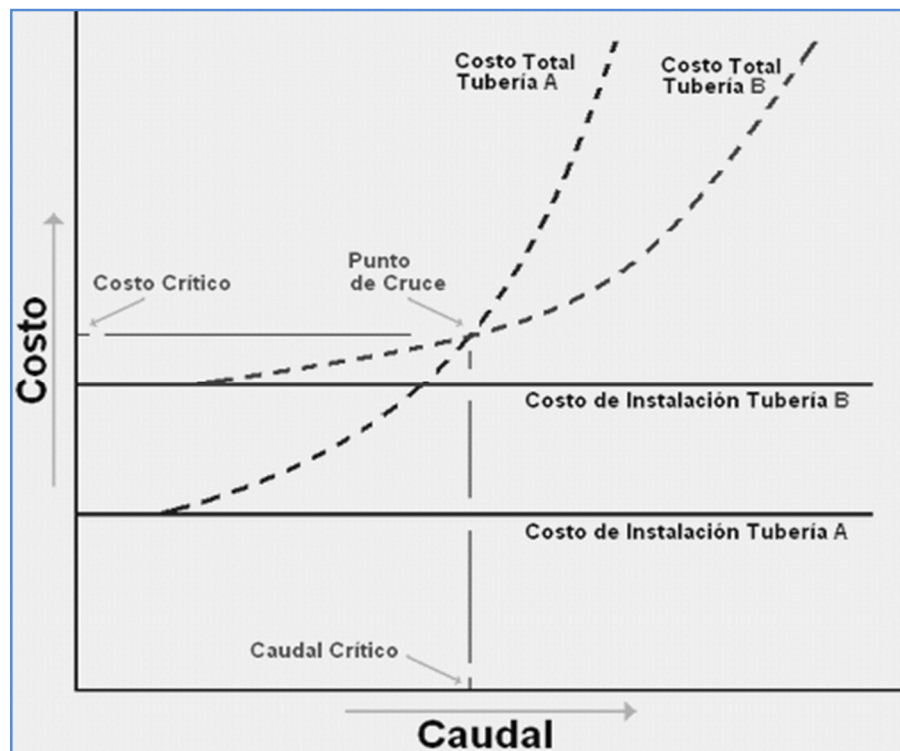


FIGURA 2

Curva de diámetros óptimos

En la práctica, en una tubería forzada, las pérdidas fundamentales son las de fricción; las pérdidas por turbulencia en la tubería, al paso por la rejilla, a la entrada de aquella, en los codos, expansiones, concentraciones y válvulas, son pérdidas menores.

Bastará pues en una primera aproximación calcular las pérdidas por fricción, utilizando por ejemplo la ecuación de Manning:

$$\frac{h_f}{L} = \frac{10.29 n^2 Q^2}{D^{5.33}} \dots\dots\dots(5)$$

b.- DISPOSICIÓN GENERAL Y MATERIALES PARA SU FABRICACIÓN

Para transportar un cierto caudal de agua desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas las tuberías forzadas pueden instalarse sobre o bajo el terreno, según sea la naturaleza de éste, el material utilizado para la tubería, la temperatura ambiente y las exigencias medioambientales del entorno.

Por ejemplo:

Para enterrar una tubería, previamente hay que pintarla y protegerla exteriormente mediante, por ejemplo, una cinta enrollada que garantice su resistencia a la corrosión. Si se hace así y la cinta no sufre daños durante el montaje, la tubería no necesitará ningún mantenimiento.

Si se instala sobre el terreno, la tubería estará expuesta a variaciones de temperatura, y estará sometida a movimientos de contracción, dilatación, en modo alguno despreciables.

En general las tuberías forzadas en acero, se conciben como una serie de tramos rectos, simplemente apoyados en unos pilares, y anclados sólidamente en cada una de sus extremidades, que en general coinciden con cambios de dirección.

Los anillos de soporte se diseñan basándose en el comportamiento elástico de los cilindros de acuerdo al espesor. La pared del tubo debe resistir las tensiones combinadas, correspondientes a su trabajo como viga y como recipiente cilíndrico sometido a presión interna. El momento de flexión será el correspondiente a una viga continua. Las reacciones sobre los apoyos, propias de una viga continua, se transmiten, por esfuerzo cortante, entre chapa y anillo.

Entre cada dos anclajes consecutivos se intercala una junta de dilatación, para ello los anillos se sueldan a la chapa con soldaduras continuas en rincón, y se rigidizan mediante diafragmas.

Los bloques de anclaje tienen que resistir la componente longitudinal del peso de la tubería llena de agua, más las fuerzas de fricción correspondientes a los movimientos de expansión y contracción; por eso se recomienda cimentarlos, siempre que sea posible, sobre roca. Si dada la naturaleza del terreno los bloques de anclaje requieren el empleo de grandes volúmenes de hormigón, entonces resultan muy costosos.

Para ello se recomienda apoyar los tramos rectos de tubería en soportes en los que la zona de contacto cubra un ángulo de unos 120°

Los apoyos fabricados por soldadura de chapas y perfiles, se pueden recubrir, para reducir la fricción, con una placa de amianto grafitado.

Existen multitud de tipos de juntas de dilatación, pero la más utilizada es la de la FIGURA 3.

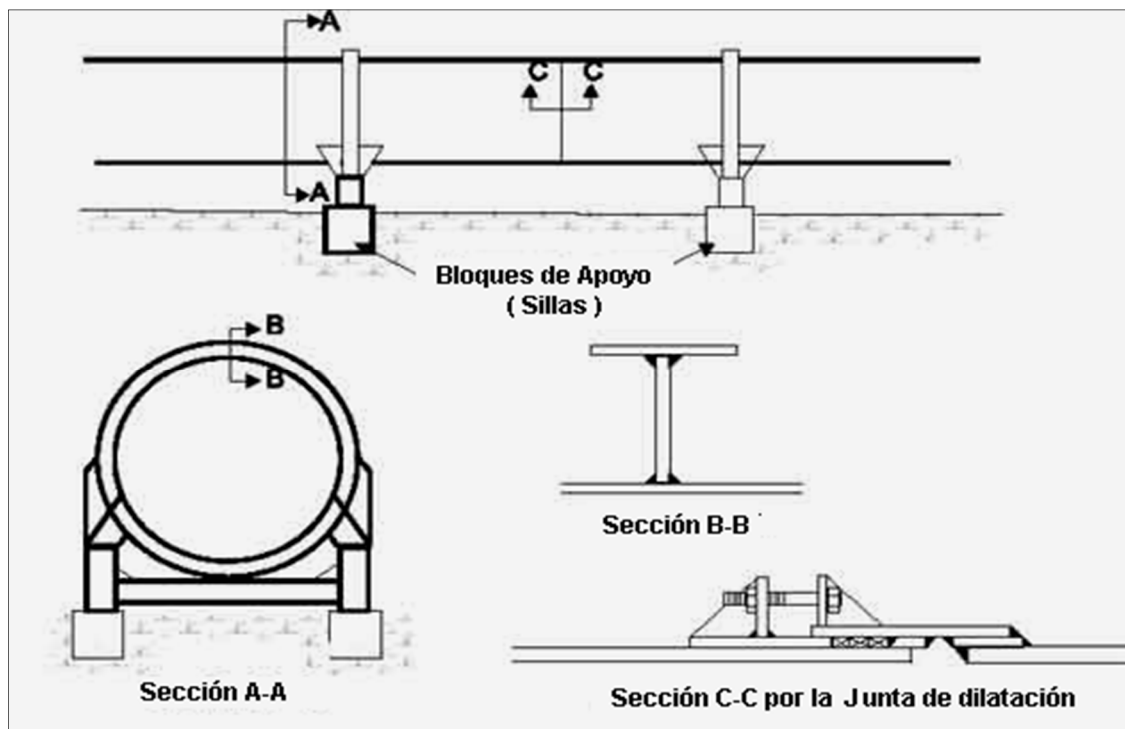


FIGURA 3

Secciones de bloques de apoyo y junta de dilatación

La empaquetadura de cierre está formada por anillos de cordones de lino de sección cuadrada, comprimidos mediante una pieza deslizante en acero que se atornilla a una brida fijada a la tubería.

La junta tipo fuelle se utiliza solo en tuberías de pared delgada; el fuelle se extiende o se contrae para absorber los movimientos longitudinales provocados por cambios de temperatura.

Hoy en día existe una gran variedad de materiales para tuberías forzadas para grandes saltos y grandes diámetros, la tubería fabricada en acero soldado, con juntas longitudinales y circunferenciales, sigue siendo la solución más preferida, porque es relativamente barata y porque puede conseguirse con el diámetro y espesor requeridos por el proyectista.

Porque el espesor requerido para compensar la corrosión, interna y externa, no disminuye con el espesor de pared, y porque se necesita un espesor mínimo para poder manipular los tubos en obra sin que se deformen.

Para diámetros más pequeños hay un gran abanico de opciones: tubo de acero estirado, con uniones de enchufe y cordón y anillos de cierre, o con bridas soldadas; tuberías de hormigón, centrifugadas o pretensadas y tuberías de amianto-cemento. Los tubos con juntas de enchufe y cordón, contruidos en acero, fundición dúctil o PVC, con empaquetaduras flexibles no necesitan juntas de dilatación, ya que estas absorben los pequeños movimientos longitudinales.

c.- OTROS TIPOS DE TUBERÍAS

Entre los materiales utilizables para tuberías forzadas y que, en ocasiones, pueden sustituir ventajosamente al acero, cabe destacar los siguientes:

• Polietileno

El polietileno de baja y media densidad (HDP y MDPE) se viene utilizando desde hace tiempo en aprovechamientos con baja altura de salto. En los últimos años ha hecho su aparición en el mercado el polietileno de altas prestaciones (HPPE) que puede utilizarse en saltos de hasta 160 m de altura. Las tuberías de polietileno son relativamente pesadas pero muy robustas.

• Cloruro de polivinilo (UPVC O PVC-U)

La tubería de PVC, en el Perú hay de clase 6, 7.5, 10, 15, las cuales resulta muy competitiva en alturas medias de salto, una tubería de 40 cm. de diámetro puede utilizarse en saltos de hasta 200 metros, en las que, con frecuencia, resulta más barata que la de acero. Es más fácil de manejar en obra y no requiere ninguna protección contra la corrosión.

Se espera que lleguen en breve al mercado las tuberías de PVC Molecularmente Orientado aun más resistentes.

Todas ellas pueden soldarse mediante disolventes solo si están sometidas a esfuerzos longitudinales o unirse mediante conexiones mecánicas.

Se recomienda proyectar la tubería con diámetros decrecientes, a fin de poder transportarlos unos dentro de otros.

Las tuberías en PVC son sensibles a las radiaciones ultravioletas, por lo que deben ser enterradas o recubiertas con cinta.

El radio mínimo de curvatura de una tubería PVC es relativamente grande, 100 veces su diámetro interno, y su coeficiente de dilatación es cinco veces mayor que el del acero.

Resultan relativamente frágiles y no se presta a ser instalada en terrenos rocosos.

- **Tuberías de aleaciones de plástico**

Recientemente ha hecho su aparición en el mercado una tubería conocida como Hep,O, fabricada con una mezcla de PVC y derivados acrílicos.

Utilizable en saltos de hasta 160 m, su espesor es inferior al de las tuberías equivalentes en PVC y sus propiedades mecánicas comparables a las del HPPE. Se comporta dúctilmente bajo carga, eliminando los problemas de rotura frágil que afectan al PVC.

- **Tuberías reforzadas con fibra de vidrio (GRP)**

Estas tuberías están ganando progresivamente mercado en Europa, gracias a su elevada resistencia.

Su costo es competitivo y su peso es inferior en un 20% al de los tubos de acero, lo que facilita su instalación, aun cuando haya que manejarlos con cuidado para evitar que sus bordes se deterioren.

- **Tuberías de polietileno de alta densidad (PE)**

Solo se suministran para diámetros de hasta 30 cm. Pueden ser instaladas al aire libre y se pueden curvar a un radio de 20 a 40 veces su diámetro,.

El PE flota en el agua lo que permite arrastrar tramos de gran longitud utilizando un cable. Por ahora la unión en obra de dos tramos exige el empleo de soldadura por fusión, para lo que se necesitan máquinas relativamente pesadas.

Las tuberías de PE pueden soportar temperaturas inferiores a cero grados. Dado su elevado peso, resultan difíciles de transportar y manejar en obra, pero en cambio no exigen ningún tratamiento de protección contra la corrosión.

En algunos países en vías de desarrollo se utilizan tuberías construidas con dovelas de madera creosotada y zunchadas con flejes de acero. Esta solución que puede ser atractiva si en el país hay madera y mano de obra abundante, permite alcanzar 50 metros de altura de salto con diámetros de 5,5 metros; si el diámetro se reduce a 1,5 metros el salto puede alcanzar los 120 metros.

TABLA 2

Propiedades de los materiales, arriba citados.

Material	Modulo de Young ($\text{Nm}^2 \cdot 10^9$)	Coef. de expansión ($\text{mm}/^\circ\text{C}$) 10^6	Carga por tracción ($\text{Nm}^2 \cdot 10^6$)	n
Acero Soldado	206	12	400	0.012
Polietileno PE	0.55	140	5	0.009
Tubería de PVC	2.75	54	13	0.009
Uralita	N.A	8.1	N.A	0.011
Madera	N.A.	N.A.	N.A.	0.012
Fundición	78.5	10	140	0.014
Hierro Dúctil	16.7	11	340	0.015
Metal Corrugado	206	n.a.	400	0.024

d - DETALLES DE LA INSTALACIÓN

Según las características del proyecto y de los recursos humanos, materiales y monetarios con que se cuente, la instalación de la tubería forzada, puede realizarse al mismo tiempo que la correcta elección del trazado en el terreno, facilitará enormemente las tareas, pero en muchos casos habrá que modificar sobre la marcha, de acuerdo a los inconvenientes que se vayan presentando, como resultado tanto de las características del terreno, como de los errores y omisiones en el registro de datos y en los detalles de diseño.

Cuando es posible, el montaje de la tubería forzada debe iniciarse a partir de la sala de máquina.

Si se usan caños de plástico o de fibrocemento para la tubería forzada, es conveniente montar primero la turbina y continuar luego con el acople y montaje de la tubería forzada. La alternativa elegida para la construcción y el montaje dependerá del tipo tubería forzada que se haya adoptado.

Las tuberías de PVC son fáciles de montar, mientras que las de hierro requieren mayor cantidad de mano de obra especializada.

Una vez concluida la instalación, hay que proceder a desmontar la turbina o extraer el rodete y alabé regulador y largar el agua por la tubería.

Todo esto con precaución, al principio y durante varias horas o días, para limpiarla de piedras u otros materiales que pudieran estar atrapados en los codos internos, tratando de evitar el anegamiento de la sala de máquina.

1.5.2.- FRICCIÓN EN TUBERÍAS

a.- CONCEPTO

El factor de fricción f es adimensional y varía de acuerdo a los parámetros de la tubería y del flujo. Este puede ser conocido con una gran exactitud dentro de ciertos regímenes de flujo; sin embargo, los datos acerca de su variación con la velocidad eran inicialmente desconocidos, por lo que esta ecuación fue inicialmente superado en muchos casos por la ecuación empírica de Prony.

Años más tarde se evitó su uso en diversos casos especiales en favor de otras ecuaciones empíricas, principalmente la ecuación de Hazen-Williams, ecuaciones que, en la mayoría de los casos, eran significativamente más fáciles de calcular. No obstante, desde la llegada de las calculadoras la facilidad de cálculo no es mayor problema, por lo que la ecuación de Darcy - Weisbach es la preferida.

La ecuación de Darcy - Weisbach es una ecuación ampliamente usada en hidráulica., permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería.

La ecuación fue inicialmente una variante de la ecuación de Prony, desarrollada por el francés Henry Darcy. En 1845 fue refinada por Julius Weisbach, de Sajonia, hasta la forma en que se conoce actualmente:

Las pérdidas de carga que sufre un fluido newtoniano que circula por una tubería se calcula habitualmente mediante la ecuación de Darcy-Weisbach

Donde :

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots (6)$$

h_f = pérdida de carga debida a la fricción.

f = factor de fricción de Darcy.

L = longitud de la tubería.

D = diámetro de la tubería.

V = velocidad media del fluido.

g = aceleración de la gravedad: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

En esta ecuación f es el factor de fricción de Moody (f_M) o de Darcy (f_D) que a partir de la ecuación 1, se calcula como:

$$f_M = f_D = \frac{D}{L} \frac{g h_f}{(1/2) V^2} = \frac{D}{L} \frac{\Delta P}{(1/2) \rho V^2} \quad \dots\dots(7)$$

Además del factor de Moody, también puede utilizarse el factor de Manning, definido como (2):

$$f_F = \frac{\tau_w}{(1/2) \rho V^2} = \frac{D}{4L} \frac{\Delta P}{(1/2) \rho V^2} \quad \dots\dots(8)$$

De las ecuaciones (2) y (3) se deduce que la relación de ambos factores de fricción es:

$$f = f_M = f_D = 4 f_F$$

El factor de fricción depende del número de Reynolds (Re) y de la rugosidad relativa de la tubería, (ε/D).

El cálculo de este coeficiente no es inmediato y no existe una única fórmula para calcularlo en todas las situaciones posibles.

Se pueden distinguir dos situaciones diferentes, el caso en que el flujo sea laminar y el caso en que el flujo sea turbulento. En el caso de flujo laminar se usa una de las expresiones de la ecuación de Poiseuille; en el caso de flujo turbulento se usa la ecuación de Colebrook-White

- Para régimen laminar ($Re < 2100$), el factor de fricción se calcula a partir de la ecuación de Hagen-Poiseuille:

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64 \mu}{D V \rho} \dots\dots(9)$$

- Para régimen turbulento, la estimación del factor de fricción se realiza mediante la ecuación desarrollada por Colebrook y White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.52}{Re \sqrt{f}} \right) \dots\dots(10)$$

La ecuación de Colebrook - White es válida para Reynolds comprendidos entre 4000 y 10^8 y valores de rugosidad relativa comprendida entre 0 y 0.05.

Esta ecuación cubre los casos límites de tuberías lisas, $\varepsilon = 0$, y de flujo totalmente desarrollado. Para tuberías lisas, la ecuación (10) se transforma en la ecuación de Prandtl - Von Karman.:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left(\frac{\varepsilon}{D} \right) = - 2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} \right) \dots\dots(11)$$

Por otra parte, si el flujo está totalmente desarrollado, se cumple que Re , (ε/D), $\sqrt{f} > 200$. En este caso, el factor de fricción depende solamente de la rugosidad relativa y se puede calcular mediante la ecuación deducida por Von Karman.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(\text{Re} \sqrt{f} \right) - 0.8 = 2 \log \left(\frac{\text{Re} \sqrt{f}}{2.52} \right) \dots\dots(12)$$

Salvo que se conozca previamente el número de Karman, se conoce como la caída de presión en la tubería. Las ecuaciones (10) y (12) son implícitas respecto del valor de f y se resuelven mediante métodos numéricos.

- **Modelos previos**

A continuación se presentan por orden de publicación algunos de los modelos de ecuaciones sobre la fricción en tuberías, los más representativos matemáticos y físicos desde fines de los años 40.

i) En 1947, Moody .- Propuso la siguiente ecuación de carácter empírico:

$$f = 0.0055 \left(1 + \left(2 * 10^4 * \left(\frac{\varepsilon}{D} \right) + \left(\frac{10^6}{\text{Re}} \right) \right)^{1/3} \right) \dots\dots(13)$$

ii) Posteriormente Wood .- Propuso la siguiente correlación:

$$f = a + b \text{ Re}^{-c} \dots\dots(14)$$

Donde:

$$a = 0.53 \left(\varepsilon/D \right) + 0.094 \left(\varepsilon/D \right)^{0.225}$$

$$b = 88 \left(\varepsilon/D \right)^{0.44}$$

$$c = 1.62 \left(\varepsilon/D \right)^{0.134}$$

Ecuación recomendada para Re comprendidos entre 4000 y 10^7 y valores de (ε/D) entre 0.0001 y 0.04. Esta ecuación presenta desviaciones de hasta 6%.

iii) Churchill.- A partir del modelo de transporte de Churchill and Usagi dedujo la siguiente expresión :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.70} + \left(\frac{7}{\text{Re}} \right)^{0.9} \right) \dots\dots(15)$$

- iv) Partiendo de la ecuación de Von Karman- Plandtl , propuso una expresión muy similar a la de Churchill:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{21.25}{\text{Re}^{0.9}} \right) = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.715} + \left(\frac{6.943}{\text{Re}} \right)^{0.9} \right) \quad \text{..... (16)}$$

Ecuación recomendada para Reynolds comprendidos entre 5,000 y 10^7 y valores de ε/D entre 0.00004 y 0.05.

- v) Chen ...- A partir de la aproximación del valor de una expresión explícita y sustitución de esta expresión de nuevo en la ecuación de Colebrook – White propuso la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7065} - \frac{5.0452}{\text{Re}} \right) * \log \left(\frac{(\varepsilon/D)^{1.1098}}{2.8257} + \left(\frac{5.8506}{\text{Re}^{0.8981}} \right)^{0.9} \right) \quad \text{..... (17)}$$

Este método supone ejecutar dos ciclos de convergencia en la solución de la ecuación de Colebrook- White.

Dado que la estimación inicial es buena, la exactitud de los resultados de esa ecuación es elevada.

La ecuación de Chen es válido para Re comprendido entre 4,000 y $4 \cdot 10^8$ y valores de (ε/D) entre 0.0000005 y 0.05 obteniéndose errores menores del 0.5% respecto de los valores predichos por la ecuación de Colebrook.

b.- FACTOR DE FRICCIÓN

Recordamos que el factor de fricción o coeficiente de resistencia de Darcy-Weisbach (f) es un parámetro adimensional que depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa.

$$f = f \left(\text{Re} \frac{e}{D} \right)$$

Decíamos que la influencia de ambos parámetros sobre f es cuantitativamente distinta según las características de la corriente.

En toda tubería recta que transporta un líquido a una temperatura determinada, existe una velocidad crítica (V_c) por debajo de la cual el régimen es laminar.

Este valor crítico que marca la transición entre los dos regímenes, el laminar y el turbulento, se corresponde con un $Re = 2300$, aunque en la práctica, entre 2000 y 4000 la situación es bastante imprecisa.

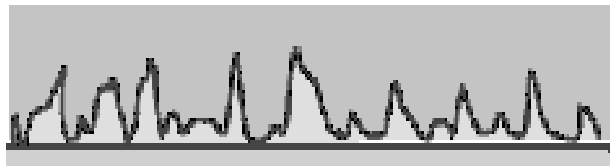
Por lo tanto:

$Re < 2000$:	Régimen laminar.
$2000 < Re < 4000$:	Zona crítica o de transición.
$Re > 4000$:	Régimen turbulento.

- **COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DE LAS TUBERÍAS**

- 1.- **Régimen laminar:**

Hemos visto que $f = \frac{64}{Re}$, independiente de la rugosidad relativa, ya que no se forman turbulencias.

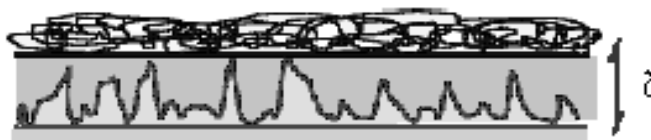


$$f = f(Re)$$

- 2. -**Régimen turbulento:**

- a) **Flujo hidráulicamente liso (tubería hidráulicamente lisa):**

La rugosidad (K) queda cubierta por la subcapa laminar (δ). La rugosidad, por tanto, no influye en el valor de f puesto que ningún punto de la pared queda afectado por las turbulencias que producirían las rugosidades internas, comportándose la tubería como un material liso.

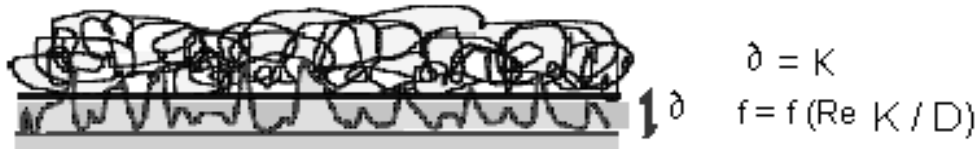


$$\delta > K$$
$$f = f(Re)$$

- b) **Flujo hidráulicamente semi_rugoso o zona de transición:**

El espesor de la subcapa laminar (δ) se aproxima al valor medio de rugosidad absoluta (K), de manera que la rugosidad emerge de la subcapa laminar en unos puntos y en otros no, quedando sólo las rugosidades que emergen afectadas por la turbulencia.

Es el caso más frecuente, y aquí el coeficiente de fricción depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa.



c) Flujo hidráulicamente rugoso (tubería hidráulicamente rugosa):

Si el espesor de la capa límite (δ) es menor que la rugosidad absoluta (K), las irregularidades internas de la conducción rebasan la subcapa laminar, produciendo turbulencia completa. Cuanto mayor sea el número de Reynolds, más delgada será la subcapa laminar y más puntos de la pared sobresaldrán de ella.



.En este caso, las fuerzas de inercia son muy importantes y apenas influyen las fuerzas viscosas, por lo que el factor de fricción sólo depende de la rugosidad relativa y el número de Reynolds no tiene importancia en su determinación.

Cuantitativamente:

$$\frac{\varepsilon}{\delta} < 0.10 : \text{Flujo hidráulicamente liso.}$$

$$0.10 \leq \frac{\varepsilon}{\delta} \leq 0.60 \quad \text{Flujo hidráulicamente semi_rugoso o zona de}$$

$$\frac{\varepsilon}{\delta} > 0.10 \quad \text{Flujo hidráulicamente rugoso.}$$

En la práctica, se utilizan unas condiciones basadas en la proporcionalidad del número de Reynolds de la rugosidad y la relación ε/δ ya que son más fáciles.

De establecer que las anteriores se refieren a rugosidades absolutas irregulares, que es el caso real de las tuberías comerciales.

Si

$$K \leq \frac{19.25 D}{\left(\text{Re}\right)_C^{7/8}} : \text{Flujo hidráulicamente liso.}$$

Si

$$K \geq \frac{560 D}{(Re)_c} = \frac{560 D}{\frac{V D}{\nu}} = 560 \frac{\nu}{V} : \text{Flujo hidráulicamente rugoso.}$$

Si K está comprendido entre los dos valores anteriores, el flujo sería hidráulicamente semirrugoso.

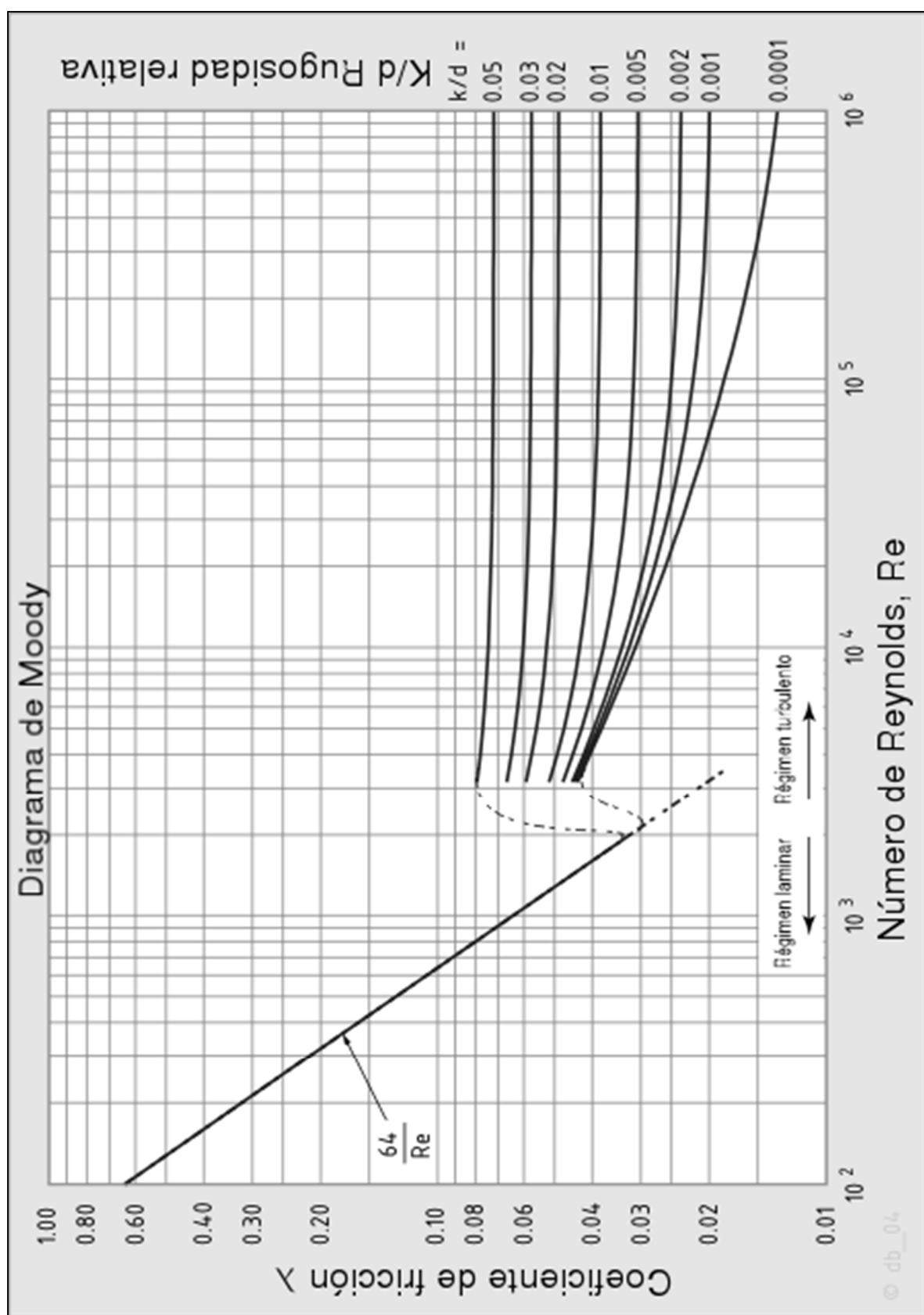
- **EXPERIENCIAS DE NIKURADSE. VALOR DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN SEGÚN EL RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO.**

Como ya comentamos al hablar de las rugosidades absoluta y relativa, Nikuradse, discípulo de Prandtl, experimentó con tubos de rugosidad artificial conocida, creada por él mismo pegando en el interior de un tubo liso (de vidrio) arenas tamizadas, es decir, de diámetro conocido, con lo que la rugosidad artificial de estos “tubos arenisca” era conocida.

Variando los caudales que circulaban por estos tubos obtuvo un diagrama en el que se relacionan los valores de $e/D = (K/d)$, $f = \lambda$ y Re con los hallados para f. también experimentó con tubos lisos.

Los resultados de estas experiencias aparecen representados en el diagrama logarítmico típico, conocido como *ábaco* o *diagrama de Moody*.

El diagrama de Moody (1944), permite determinar el valor del factor de fricción f a partir de Re y K/D de forma directa. Es una representación log – log del factor de fricción f frente al Re, tomando como parámetro K/D. Se distinguen cinco zonas, correspondientes a los distintos regímenes hidráulicos, correspondiendo al coeficiente de fricción f valores diferentes en cada caso.



- **VALORES DE f SEGÚN EL RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO**

- a.- **$Re \leq 2000$,**

Régimen laminar, por lo que $f = \frac{64}{Re}$ (17)

Tomando logaritmos: $\log f = \log 64 - \log Re$

que es la ecuación de una recta (AB) conocida como *recta de Poiseuille*.

- b.- **$2000 < Re < 4000$,**

Zona crítica o inestable de transición al régimen turbulento, definida por la curva BC.

- c.- **$Re > 4000$,**

Zona de régimen turbulento liso que corresponde a la recta CD, llamada *recta de Von Karman* (1930), y cuya ecuación es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right] \text{ (18)}$$

Aunque \sqrt{f} , no aparece en forma explícita, es función del Re .

- d.- **Zona de transición del régimen turbulento**, en la que:

$$f = f \left(Re \frac{e}{D} \right)$$

Para las tuberías comerciales en esta zona se utiliza la fórmula de Colebrook - White (1938):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} + \frac{e/D}{3.71} \right] \text{(19)}$$

- e.- **Zona de flujo turbulento rugoso**, en la que se verifica la expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{e/D}{3.71} \right] \text{(20)} \quad \text{(Nikuradse 1933)}$$

En la que f es independiente de Re , $f = f(e/D)$.

Gráficamente se observa esta independencia del número de Reynolds, ya que en esta zona las rectas son paralelas al eje Re (eje de las abscisas).

La región de turbulencia completa (rugosa) limita con la de transición mediante la recta FG, denominada *curva de Moody*, de expresión:

$$Re = \sqrt{f} \frac{K}{D} = 200$$

Dividiendo por $\sqrt{8}$ se obtiene:

$$\underbrace{Re \sqrt{\frac{f}{8}} \frac{K}{D}}_{(Re)_r} = \frac{200}{\sqrt{8}}$$

Siendo $(Re)_r = 70$. En la práctica, para $(Re)_r > 30$ se puede considerar el flujo como turbulento rugoso.

- **Variaciones con el uso de la rugosidad absoluta envejecimiento de tuberías.**

Todos los materiales, con el paso del tiempo, disminuyen su capacidad de conducción del caudal debido a corrosiones, incrustaciones, sedimentaciones, formación de depósitos, etc. Experimentando con tuberías de fundición, Colebrook y White dedujeron que la rugosidad absoluta aumenta linealmente con el tiempo según la ecuación empírica:

$$K_t = K_0 + \alpha t$$

Siendo:

K_0 = Rugosidad absoluta de la tubería nueva.

K_t = Rugosidad absoluta al cabo de t años de servicio.

α = Índice de aumento anual de la rugosidad.

Se ha demostrado que esta ecuación es también aplicable a otras clases de tuberías.

Según Colebrook, en conducciones metálicas no revestidas, al cabo de 30 años el caudal se reduciría en un 30% para aguas de $pH = 8$, en un 45% para $pH = 7$ y en un 85% para $pH = 6$.

En conducciones revestidas el envejecimiento es menor, y las tuberías de hormigón liso, fibrocemento y plástico carecen de envejecimiento aparente.

1.5.3.- PÉRDIDAS DE CARGA (ENERGÍA) DEBIDAS A LA FRICCIÓN

1.- PERDIDA DE CARGA LONGITUDINAL

Las pérdidas de carga que más se calcula en flujos de tuberías tal vez sea la pérdida de carga longitudinal .

Estas son debidas a la fricción interna en el fluido. Como se indica en la ecuación general de energía, tales pérdidas traen como resultado la disminución de presión entre dos puntos del sistema de flujo.

a.- La Ecuación de Darcy – Weisbach

Si planteamos la ecuación de energía entre dos puntos de una corriente de fluido se tiene

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(21)$$

Definimos los siguientes términos:

V_1 y V_2 = Velocidades promedios en las secciones 1 y 2 respectivamente

α_1 y α_2 = Factores de corrección de energía cinética en tuberías circulares, con flujo laminar con perfil parabólico de velocidades $\alpha=2$ y en flujo turbulento el perfil es casi uniforme $\alpha=1.05$ □□ en general tomaremos $\alpha=1$

h_A = Energía añadida o agregada al fluido mediante un dispositivo mecánico, como puede ser una bomba.

h_R = Energía removida o retirada del fluido mediante un dispositivo mecánico, como podría ser una turbina.

h_L = Pérdida de energía la cual se compone en general de las pérdidas por fricción y pérdidas menores:

$$h_L = h_f + h_m$$

h_m = Pérdida local de carga debida a la presencia de válvulas y conectores

Las pérdidas de carga debido a la fricción las podemos expresar por la ecuación de Darcy - Weisbach

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(22)$$

En la que:

L : Longitud del tramo de tubería [m].

D : Diámetro del conducto [m].

V : Velocidad promedio del flujo [m/s]

g : Gravedad [m/s²]

f : Factor de fricción [adimensional]

Es de anotar que el valor estándar para la gravedad es de 9.80665 m/s² y varía de un mínimo de 9.77 m/s² a un máximo de 9.83 m/s² en la tierra. Se utilizará un valor nominal de 9.81 m/s² a menos que se indique otra cosa.

Esta ecuación nos sirve para calcular las pérdidas de energía para todo tipo de flujo, por eso es conocida como la ecuación universal.

b.- Pérdida de carga en flujo laminar

La pérdida de carga en este tipo de flujo se puede calcular a partir de la ecuación de Hagen Poiseuille

$$h_f = \frac{32 \mu L V}{\gamma D^2}$$

Pero como dijimos anteriormente, la ecuación de Darcy - Weisbach es aplicable a este tipo de flujo, por lo que igualaremos las dos expresiones:

$$\frac{32 \mu L V}{\rho g D^2} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2 g}$$

Despejando f tenemos:

$$f = \frac{64 \nu}{V D}$$

Anteriormente habíamos definido el número de Reynolds como

$$Re = \frac{V D}{\nu} \quad \dots\dots\dots(23)$$

Entonces :

$$f = \frac{64}{Re}$$

Por lo tanto en flujo laminar para encontrar las pérdidas de carga podemos aplicar la ecuación de Hagen - Poiseuille o la de Darcy - Weisbach

c- Pérdida de carga en flujo turbulento

De acuerdo a las experiencias de Nikuradse, se estableció que para flujos turbulentos el factor de fricción depende tanto del diámetro de la tubería como de la rugosidad relativa del conducto. Esta última es la relación entre el diámetro D, del conducto y la rugosidad promedio ε de la pared del conducto.

En la figura 4 se puede observar la rugosidad de la pared del conducto

Colebrook y White comprobaron los resultados de Nikuradse y presentaron la siguiente formula empírica para $Re > 4\,000$:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} + \frac{e/D}{3.71} \right] \dots\dots\dots(24)$$

En esta podemos observar que f esta en ambos lados de la ecuación, por eso para poder encontrar el valor de f debemos emplear el método de numérico de iteración de punto fijo,

FIGURA 4.

Rugosidad de la pared del conducto

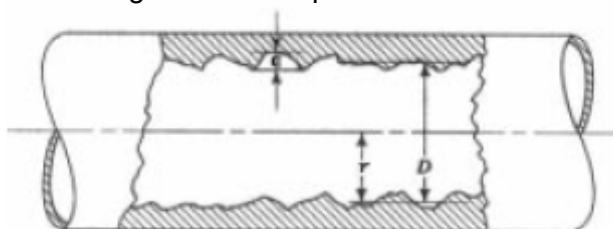


TABLA 3

Valores de la Rugosidad absoluta de algunas tuberías

MATERIAL	RUGOSIDAD ABSOLUTA (ϵ)
Acero brizado	0.9....9
Acero comercial	0.45
Acero galvanizado	0.15
Concreto	0.3...3
Concreto bituminoso	0.25
Hierro forjado	0.06
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Hierro galvanizado	0.15
Hierro dulce asfaltado	0.12
Polietileno	0.007
PVC	0.0015

Cuando la tubería de hierro dúctil esté revestida internamente, se debe tomar el valor de rugosidad absoluta del material de revestimiento.

Se recomienda el uso de la ecuación de Colebrook - White con el f en flujo turbulento para el cálculo de la pérdida por fricción.

La Ecuación de Colebrook - White requiere un procedimiento de tanteo y error, como el método de iteración de punto fijo llamado también de aproximación sucesiva, para su solución, este procedimiento resulta rápido si se dispone al menos de una calculadora programable, por esta razón en 1976 P. K. Swamee y A. K. Jain propusieron la siguiente expresión explícita para el factor de fricción

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7D/\epsilon} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \dots\dots\dots(25)$$

Esta ecuación es aplicable dentro de los siguientes rangos:

$$100 < D/\epsilon < 10^6$$

$$4\,000 < Nr < 3(10^8)$$

Se recomienda utilizar esta ecuación para obtener el valor inicial de f para ser utilizado en la ecuación de Colebrook - White

d.- Pérdida de carga en la zona crítica

Para calcular la pérdida en la zona crítica ($2000 < Re < 4000$) se recomienda utilizar una interpolación cúbica entre el factor para flujo laminar y flujo turbulento.

La interpolación mas recomendada es la cúbica propuesta por Dunlop en 1991

$$f = (X_1 + R (X_2 + R (X_3 + X_4))) \dots\dots\dots(26)$$

En donde :

$$X_1 = 7 F_A - F_B$$

$$X_2 = 0.128 - 17 F_A + 2.5 F_B$$

$$X_3 = - 0.128 + 13 F_A - 2 F_B$$

$$X_4 = R (0.032 - 3 F_A + 0.5 F_B)$$

$$R = Re / 2\,000$$

$$F_A = (Y_3)^{-2}$$

$$F_B = F_A (2 - 0.00514215 / (Y_2 * Y_3))$$

$$Y_2 = \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}$$

$$Y_3 = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{4000^{0.9}} \right)$$

En las cuales (R_e) es el número de Reynolds, (ϵ) rugosidad de la tubería, (D) diámetro interno del tubo.

e.- Fórmula de Hazen - Williams para pérdidas en tuberías

En el siglo antepasado e inicios del pasado se obtuvieron muchas fórmulas empíricas.

Cada una de estas representa un modelo matemático que se aproxima a los valores de velocidad y fricción obtenidos en el laboratorio, pero no puede asegurarse que este modelo sea válido por fuera del rango de experimentación.

Sin embargo algunas de estas fórmulas dan resultados aceptables y rápidos dentro de sus rangos. Una de estas fórmulas fue la propuesta por Hazen y Williams en 1903. Con esta se propuso "corregir" el inconveniente presentado con la ecuación de Colebrook - White (Ec. 24), pues el factor de fricción varía con el material, el diámetro y la velocidad, haciendo, a principios del siglo XX, engorrosa su averiguación.

La expresión original propuesta es entonces

$$V = 1.308 C R_H^{0.63} S_F^{0.54} \quad \dots\dots(27)$$

En donde

V : Velocidad del flujo en pies/s

C : Constante de Hazen - Williams

R_H : Radio hidráulico en pies

S_F : Cociente h_f / L , pérdida de energía en la longitud del conducto en pies/pies

El uso del radio hidráulico nos permite aplicar la fórmula tanto en

conductos circulares como en los no circulares.

Para convertir la ecuación de Hazen - Williams al SI debemos pasar la velocidad a m/s y el radio hidráulico a metros.

$$V = 0.8492 C R_H^{0.63} S_F^{0.54} \dots\dots\dots(28)$$

Si despejamos h_f en la ecuación (27) y la dejamos en función del caudal obtenemos otra forma de la ecuación muy útil en los cálculos:

$$h_f = \frac{10.67 L Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.87}} \dots\dots\dots(29)$$

Esta fórmula es aplicable a las siguientes restricciones

- Velocidad de flujo menores de 3.05 m/s
- Conductos de diámetro menores de 2 a 72 pulg. (50 mm a 1800 mm)
- Agua a 15° C
- Desarrolla únicamente para flujo turbulento

2.- PÉRDIDAS CARGA MENORES O SECUNDARIAS

Ahora sabemos cómo calcular las pérdidas en tuberías. Sin embargo los sistemas de tuberías incluyen: válvulas, codos, reducciones, dilataciones, entradas, salidas, flexiones y otras características que causan pérdidas adicionales, llamadas pérdidas menores

La pérdida de presión total producida por una válvula o accesorio consiste en:

1. La pérdida de presión dentro de la válvula.
2. La pérdida de presión en la tubería de entrada es mayor de la que se produce normalmente si no existe válvula en la línea.
Este efecto es pequeño.
3. La pérdida de presión en la tubería de salida es superior a la que se produce normalmente si no hubiera válvula en la línea.
Este efecto puede ser muy grande.

Desde el punto de vista experimental es difícil medir estas tres caídas por separado

Se acostumbra calcular estas pérdidas con una ecuación de la forma

$$h_f = K \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots (30)$$

V = Velocidad media del flujo

K = Coeficiente de resistencia

En algunos casos puede haber más de una velocidad de flujo como en el caso de las reducciones o ampliaciones. Es de la mayor importancia que sepamos la velocidad que debemos utilizar en cada coeficiente de resistencia.

a.- Dilatación súbita

En la figura 5(a) observamos una expansión repentina de una tubería, en la que el diámetro cambia de D_1 a D_2 . Aplicando la segunda ley de Newton al volumen de control mostrado en la figura 5(b), suponiendo perfiles uniformes, obtenemos

$$\sum F_x = M (V_2 - V_1)$$

En donde

$$M = \frac{m}{\Delta t} \quad \text{Rapidez de flujo de masa}$$

$$(P_1 - P_2)A_2 = \rho A_2 V_2 (V_2 - V_1)$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = V_2 (V_2 - V_1)$$

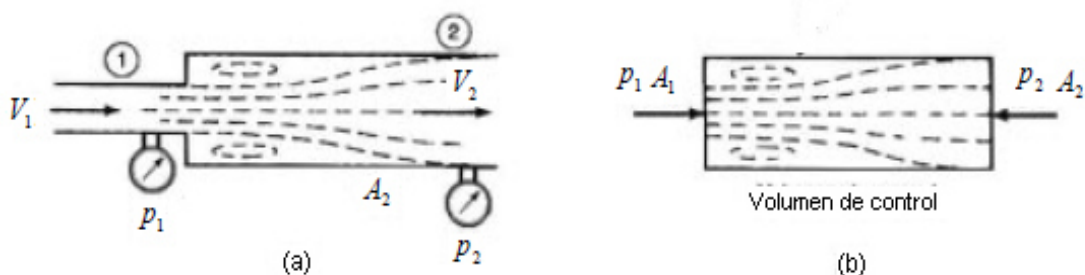


FIGURA 5.

Dilatación súbita

Aplicando la ecuación general de energía tenemos

$$0 = \frac{V_1^2 + V_2^2}{2g} + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + z_1 - z_2 + h_L$$

$$h_m = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} - \frac{V_1^2 + V_2^2}{2g}$$

$$h_m = \frac{V_1(V_2 - V_1)}{g} - \frac{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)}{2g} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

Para expresar esto en términos exclusivamente de V_1 aplicamos continuidad

$$V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1$$

Entonces la ecuación para las pérdidas en una ampliación brusca toma la siguiente forma:

$$K = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g} = \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g} \quad \dots(31)$$

Los valores de K de esta ecuación coinciden con los hallados experimentalmente cuando la velocidad V_1 es aproximadamente 1.2 m/s, por eso se recomienda utilizar los valores experimentales mostrados en la TABLA 4, cuando se conoce la velocidad de flujo.

TABLA 4.
Coeficiente de resistencia dilatación súbita

D_2/D_1	VELOCIDAD V_f (m/seg)						
	0.6	1.2	3.0	4.5	6.0	9.0	12.0
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.2	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08
1.4	0.26	0.25	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20
1.6	0.40	0.38	0.35	0.33	0.33	0.32	0.32
2.0	0.60	0.56	0.52	0.50	0.50	0.48	0.47
2.5	0.74	0.70	0.65	0.63	0.62	0.60	0.58
3.0	0.83	0.78	0.73	0.70	0.69	0.67	0.65
5.0	0.96	0.91	0.84	0.82	0.80	0.77	0.75

10.0	1.00	0.96	0.89	0.86	0.84	0.82	0.80
∞	1.00	0.98	0.91	0.88	0.86	0.83	0.81

b.- Pérdida en salidas

En la ecuación (30) obtuvimos el K para una dilatación súbita

$$K = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \dots\dots\dots(32)$$

Si A_2 es extremadamente grande, como en el caso de una tubería que entra a un depósito tenemos que:

$$K = 1$$

Resultado de esperar, ya que se pierde toda la energía cinética. $\frac{v^2}{2g}$.

Esto quiere decir que toda la energía cinética se disipa por formación de macro turbulencia en el depósito.

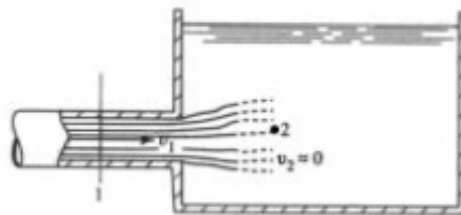


FIGURA 6.

Tubería entrante a un depósito

c. – Dilatación gradual

La transición de un conducto menor a otro mayor puede hacerse de una forma menos brusca, colocando una sección cónica entre los dos conductos, reduciendo así las pérdidas de energía.

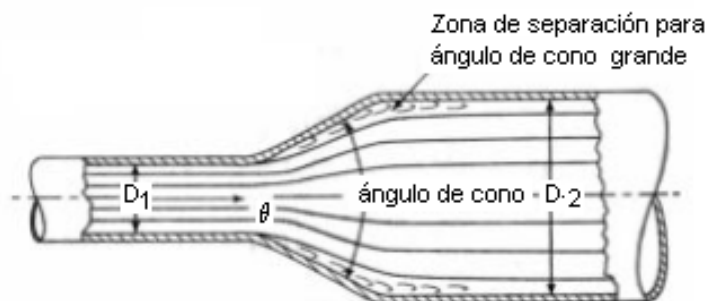


FIGURA 7.

Dilatación gradual

Las pérdidas de este tipo de accesorio las podemos calcular con la ecuación (30), así

$$h_f = K \frac{V_1^2}{2g} \dots\dots(33)$$

Donde V_1 es la velocidad de la corriente en el conducto menor

En la TABLA 5 tenemos los valores de K en función de la relación de diámetros extremos (D_2/D_1) y el ángulo θ

TABLA 5

Coeficiente de resistencia, dilatación gradual

D_2/D_1	Angulo del cono, θ en grados											
	2	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
1.1	0.01	0.01	0.03	0.05	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23
1.2	0.02	0.02	0.04	0.09	0.16	0.21	0.25	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37
1.4	0.02	0.03	0.06	0.12	0.23	0.30	0.36	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53
1.8	0.03	0.04	0.07	0.15	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65
2.0	0.03	0.04	0.07	0.16	0.29	0.38	0.46	0.52	0.56	0.60	0.63	0.68
2.5	0.03	0.04	0.08	0.16	0.29	0.39	0.48	0.54	0.58	0.62	0.65	0.68
∞	0.03	0.05	0.08	0.16	0.31	0.40	0.49	0.56	0.60	0.64	0.67	0.72

d.- Contracción súbita

Estas pérdidas se pueden calcular con la expresión:

$$h_f = K \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots(34)$$

Donde V_2 es la velocidad de la corriente en el conducto menor

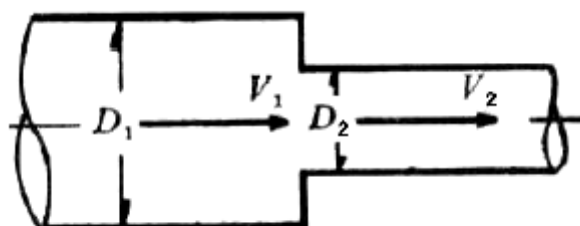


FIGURA 8.

Contracción súbita

En la tabla 6, tenemos los valores de K en función de la relación de diámetros extremos (D_1/D_2) y la velocidad promedio inicial.

TABLA 6
Coeficiente de resistencia, contracción súbita

D_2/D_1	VELOCIDAD V_f (m/seg)								
	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	4.5	6.0	9.0	12.0
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.1	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.5	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39	0.37	0.37	0.34	0.30
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
∞	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

e.- Pérdidas en entradas

Este tipo de pérdidas ocurre cuando hay un flujo de un depósito o tanque, relativamente grande con relación al diámetro de la tubería, a un conducto. En esta situación el fluido se ve sometido a un cambio de velocidad de casi cero, en el tanque, a una muy grande, que se presenta en el conducto. Las pérdidas son entonces dependientes de la facilidad con que se realiza dicha aceleración.

En la siguiente figura (9) se presentan los coeficientes de resistencia más utilizados para calcular la pérdida de energía con la siguiente expresión

$$h_f = K \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots(35)$$

Donde V_2 es la velocidad de flujo en el conducto

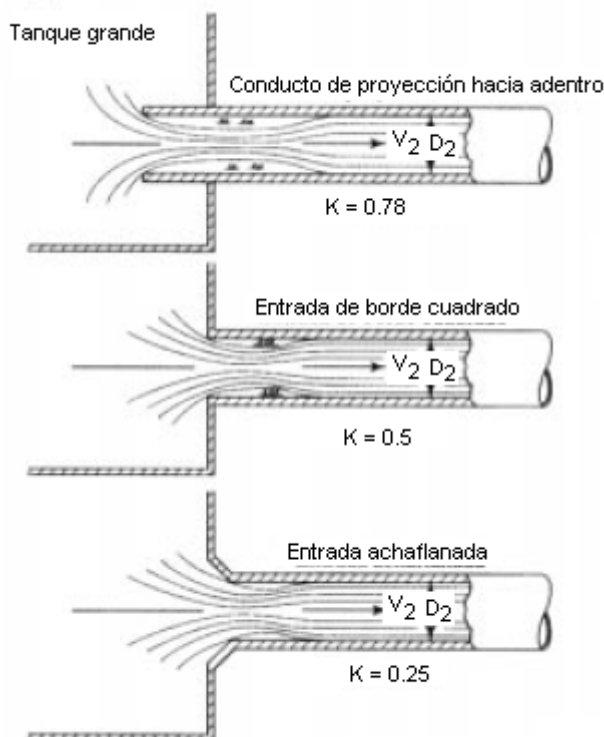


FIGURA 9

Coeficientes de resistencia en entradas

f.- Pérdidas en válvulas y conectores

En la actualidad disponemos de diferentes tipos de válvulas, uniones, codos y te; sus diseños dependen del fabricante y en caso de ser posible el suministrará los coeficientes de resistencias de sus accesorios. Sin embargo se dispone de literatura técnica suficiente en donde se listan estos coeficientes

La pérdida de energía se expresa, como en los anteriores casos, en función de la velocidad: V_2

$$h_m = K \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots(36)$$

La misma pérdida para una tubería recta se expresa con la ecuación de Darcy –Weisbach

$$h_m = \left(f \frac{L}{D}\right) \frac{V^2}{2g}$$

De donde resulta que:

$$K = \left(f \frac{L}{D}\right) \dots\dots(37)$$

La relación de L_e / D es la longitud equivalente en diámetros de tubería recta que causa la misma pérdida de presión que el obstáculo y f_T es el factor de fricción en el conducto al cual está conectado el accesorio, tomado en la zona de turbulencia completa

Obsérvese que esta expresión equivale a la de Colebrook - White para Re muy grandes

TABLA 7
Longitudes equivalentes en diámetros

Tipo de accesorio	L_e/D
Válvula globo - abierta de todo	340
Válvula de ángulo abierta del todo	150
Válvula de compuerta - Abierta del todo	9
Abierta a $\frac{3}{4}$	35
Abierta a la mitad	160
Abierta a	900
Válvula Cheque - Tipo giratorio	100
Tipo Bola	150
Válvula de mariposa - Abierta del todo	45
Codos de 90° - Estándar	30
Radio largo	20
De calle	50
Codos de 45° - Estándar	16
De calle	26

Te estándar - flujo directo	20
Flujo desviado a 90°	60

Nota : Los demás valores de k de accesorios en los anexos 6 y 7

CAPITULO 2

SISTEMA HIDRAULICO DE GENERACION DE EDEGEL S. A. A.

2.1- DESCRIPCIONES

El sistema hidráulico explotado por EDEGEL para la generación de energía eléctrica en su mayoría parte de la Cuenca Marcapomacocha. En esta cuenca existe una serie de lagunas interconectadas entre si, dado el esquema, estas a su vez están conectadas a las lagunas del Río Santa Eulalia, a través de un túnel trasandino, este túnel atraviesa la Cordillera Occidental de los Andes uniendo la Laguna Marcapomacocha y Milloc , transportando entre estas dos lagunas un caudal máximo de 12 m³/seg.

El centro de control se encarga de regular el aporte de estas lagunas según las necesidades de consumo.

Los ríos Santa Eulalia y Rímac, cuyos caudales mueven en cascada las turbinas de las Centrales Huinco, Matucana, Callahuanca, Moyopampa y Huampani.

Las cuencas hidrográficas mencionadas, cuyas áreas están entre los 2,000 y 5,000 m.s.n.m. se describen a continuación.

a.- CUENCA MARCAPOMACOCOA.- Esta situada en la vertiente del Atlántico de la Cordillera de los Andes. En ella existen cuatro embalses con una capacidad de almacenamiento de 95.3 millones de m³. de agua. En época de estiaje, las aguas de esta cuenca son derivadas a la vertiente del Pacífico, mediante un Túnel Trasandino de 10.1 Km. de longitud, por el cual puede pasar un caudal de hasta 14.m³/seg.

Además del agua embalsada, por las filtraciones del Túnel Trasandino, se aportan anualmente unos 50 millones de m³ de agua o sea, que la capacidad del a cuenca de Marcapomacocha que se vierte en promedio al Pacífico es de 125.7 millones de m³.

Existe en el pueblo de Marcapomacocha una estación de control de EDEGEL S. A. A, que ejecuta los controles y maniobras de las lagunas.

La información se efectúa mediante cuatro comunicaciones por radio diariamente con el Centro de control ubicado en Lima.

b.- CUENCA SANTA EULALIA.- Situada en la parte occidental del a Cordillera de los Andes, cuenta con 15 lagunas represadas con una capacidad de almacenamiento de 75.7 millones de m³. La información sobre maniobras y controles en esta zona se efectúa desde la localidad de Milloc, también mediante comunicación radial 4 veces al día.

c.- CUENCA RÍMAC.- Esta situada al sur de la cuenca Santa Eulalia, No cuenta con lagunas represadas. Es precisamente en esta cuenca en que se ha planeado la construcción de la represa de Yuracmayo, que podría aportar una reserva de 43 millones de m³ para, con su regulación, mejorar el manejo de los recursos hídricos y potenciales.

En el diagrama de la interconexión de las lagunas represadas, y en esquema se detallan los nombres y capacidades de las 19 lagunas de las cuencas de Marcapomacocha y Santa Eulalia, que totalizan una capacidad máxima de ensalzamiento útil de 171 millones de m³.

Los caudales naturales o regulados de las cuencas de Marca y Santa Eulalia, son medidos en Sheque y los de la cuenca Rímac en Tamboraque, en la localidad de Surco.

2.2 - EMBALSE ANUAL EN LAGUNAS

En el grafico y tablas de Volúmenes Embalses Históricos se puede observar la variación de los volúmenes embalsados en las 19 lagunas. Por diferencias entre crestas, se puede apreciar el volumen embalsado cada año por las 19 lagunas, en los últimos años, determinándose un promedio de embalse anual de 86.8 millones m³ .con un máximo de 111 millones m³ y un mínimo de 40.8 millones m³, los cuales se presentan en forma aleatoria y no cíclica.

2.3 - CAUDALES NATURALES DE LOS RÍOS SANTA EULALIA Y RÍMAC

En los cuadros se aprecian los caudales naturales del río Santa Eulalia, observándose que durante cada año hay épocas de gran caudal (épocas de avenida de mayo a diciembre) y épocas de reducido caudal (épocas de sequía desde junio a nov.).

Es interesante observar en el grafico que hay en algunos años de caudal de avenidas altos (años lluviosos) a los que bruscamente suceden años de caudales naturales reducidos (años secos), caso de los años 79 - 80, 84 - 85, 89 - 90, 94 - 95 , 98 - 2002 y en la actualidad.

Por lo tanto en la formulación de los programas de descarga de las lagunas se debe prudencialmente establecer una Reserva de Embalse Multianual de 80 millones de m^3 , de manera que con el embalse promedio anual de 83 a 90 millones de m^3 , se tenga todas las lagunas llenas al fin del Periodo de Lluvias.

La reserva multianual es técnicamente necesaria en todas las operaciones seriamente conducidas, para poder atender el servicio cuando se presenten varios años secos consecutivos o las actuales necesidades de fuertes descargas de las lagunas.

Referencialmente también se muestra en la tabla y grafico la evolución de lo caudales promedios del Rímac.

En épocas de estiaje (mayo a nov.) los caudales nominales bajan, si se hace necesario incrementarlos, descargando aproximadamente las lagunas de manera de regular el caudal el caudal del río Santa Eulalia, a un promedio de 10.5 $m^3/seg.$

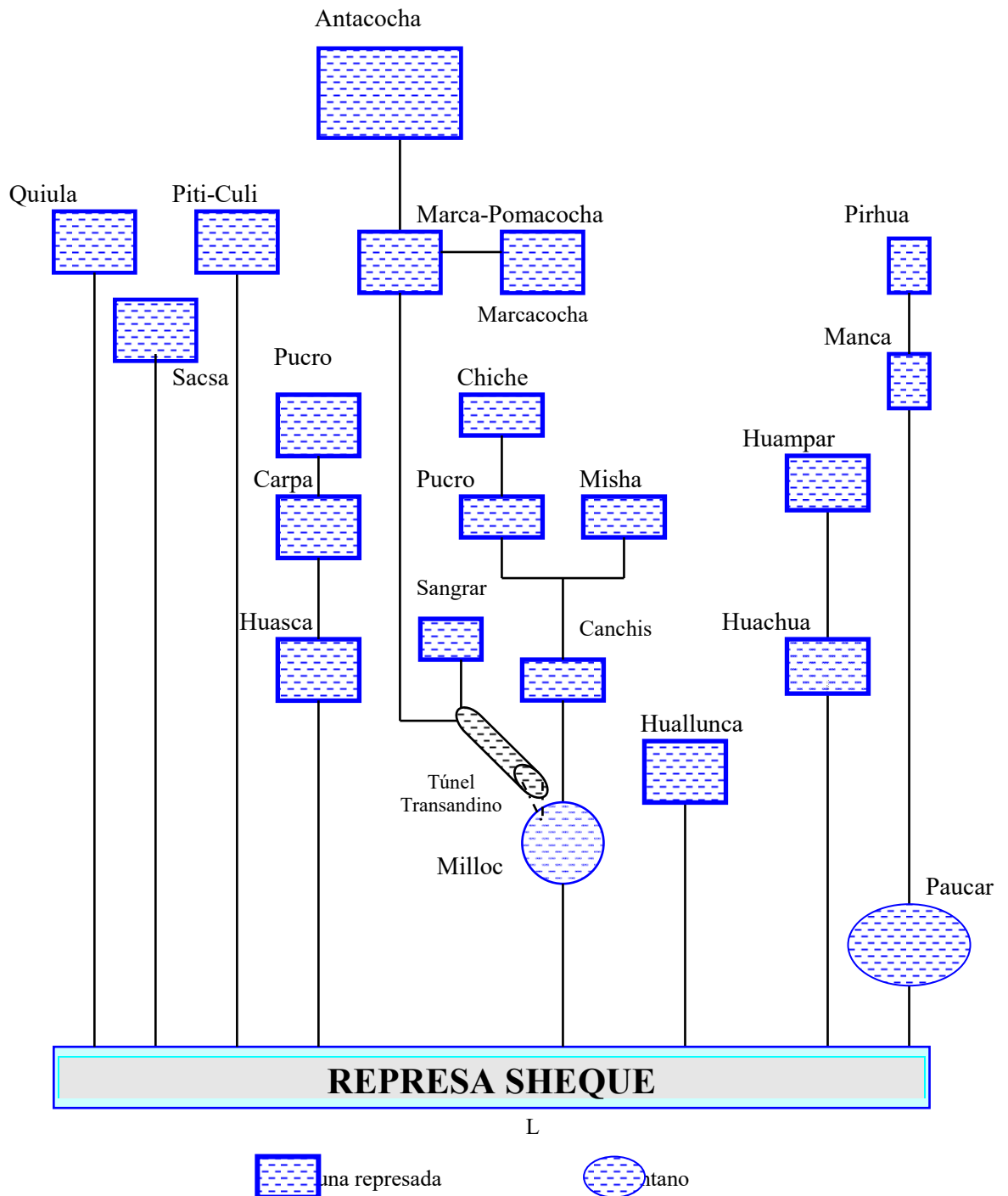
Siendo el caudal natural del río Rímac de aproximadamente de 6 $m^3/seg.$, el cual medio regulado del río a la descarga de Huampani es un promedio durante este lapso de 16.5 a 17 $m^3/seg.$ Este caudal una vez utilizado en la generación, es tomado parcialmente (aproximado 5 $m^3/seg.$) por los regantes del valle entre Huampani y la Planta de la Atarjea .

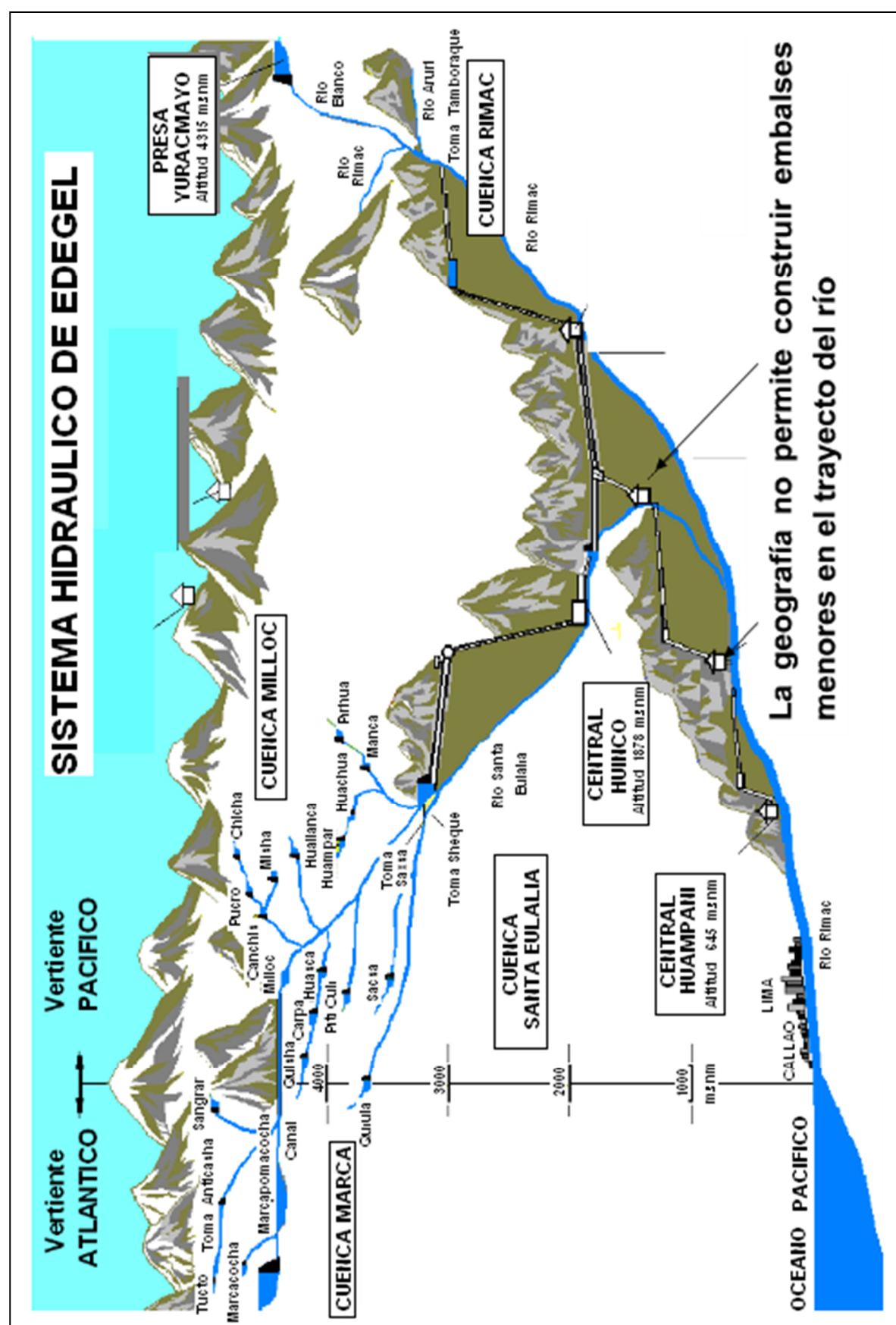
A continuación de presenta los siguientes datos históricos y gráficos:

- Sistema de interconexión de lagunas (Esquema 2.1)
- Sistema Hidráulico de EDEGEL S.A. (Esquema 2.2)
- Datos Históricos del Volumen disponible en las lagunas (Cuadro 2.1)
- Volumen Embalsado histórico (Gráfico 2.1)
- Datos Históricos del Caudal Natural de Sheque. (Cuadro 2.2)
- Caudal Natural de Sheque (Gráfico 2.2)
- Datos Históricos del Río Rímac en Surco (Cuadro 2.3)
- Caudal del Río Rímac en Surco (Gráfico 2.3)

Esquema 2.1

SISTEMA DE INTERCONEXIÓN DE LAGUNAS





Esquema 2.2

VOLUMENES EMBALSADOS

19 LAGUNAS

1980 - 2004

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1980	28,20	41,46	54,61	58,60	58,75	55,30	47,20	39,80	30,20	23,94	17,40	16,50
1981	28,60	35,80	45,30	93,20	88,10	83,30	70,90	58,30	46,60	40,70	39,30	57,70
1982	70,50	98,00	123,86	128,32	130,80	127,90	118,00	103,00	87,11	75,79	65,73	68,37
1983	81,87	93,02	109,88	114,36	110,28	101,28	90,83	78,86	68,35	60,17	61,78	60,97
1984	58,90	69,04	84,87	101,06	98,55	88,50	74,65	58,83	43,54	31,55	23,37	42,38
1985	80,44	95,92	110,46	124,74	129,78	123,23	112,93	95,61	87,05	79,38	67,42	67,99
1986	86,12	107,05	139,89	152,45	149,95	135,34	115,18	94,05	72,34	57,37	45,15	48,34
1987	70,40	86,50	126,09	145,27	149,19	148,96	141,27	127,51	114,23	105,24	95,22	104,77
1988	133,36	161,16	167,31	170,01	170,33	166,76	152,72	131,14	117,71	115,07	108,48	122,09
1989	145,36	170,85	171,60	171,60	171,60	166,62	158,32	143,16	122,14	101,69	78,58	74,47
1990	82,95	70,92	126,24	136,41	145,63	142,03	129,60	108,77	94,74	80,86	68,14	60,63
1991	83,40	113,50	136,52	148,16	144,86	142,15	134,28	123,40	108,08	91,30	74,26	70,26
1992	80,75	100,17	120,39	132,80	135,71	128,75	117,57	100,75	85,66	74,29	80,58	90,55
1993	98,87	128,05	151,88	160,33	156,92	146,73	130,25	110,53	93,68	84,00	77,19	79,06
1994	82,87	102,66	133,91	152,34	152,42	141,52	130,40	115,67	98,19	82,98	69,90	63,77
1995	78,83	91,97	107,36	125,36	125,44	119,32	107,36	91,23	72,37	54,50	55,70	60,94
1996	93,12	129,09	156,50	165,54	165,32	157,08	144,46	122,87	101,45	73,85	100,13	106,71
1997	124,45	148,30	162,75	168,71	166,94	155,73	140,26	126,83	111,22	102,53	106,53	115,41
1998	124,50	131,32	149,32	159,00	153,04	146,69	131,23	111,52	95,80	77,03	56,47	56,70
1999	69,36	102,49	145,64	159,48	159,32	153,41	134,26	110,61	95,89	86,15	76,49	88,65
2000	102,10	116,01	144,86	165,37	166,48	158,76	148,11	119,59	99,44	75,92	59,13	66,24
2001	89,40	119,74	146,33	165,45	167,04	158,71	142,84	110,86	93,07	73,89	62,21	60,60
2002	88,19	130,60	151,03	151,22	137,70	124,25	110,26	93,22	73,81	61,08	54,45	69,34
2003	82,76	110,20	127,30	143,75	146,57	136,80	120,23	94,96	75,13	61,25	51,29	48,16
2004	61,28	103,24	129,1	145,39	143,76	132,9	117,15	97,26	77,44	68,84	56,02	37,76

Cuadro 2.1

VOLUMENES EMBALSADOS HISTORICOS
19 LAGUNAS
1980-2004

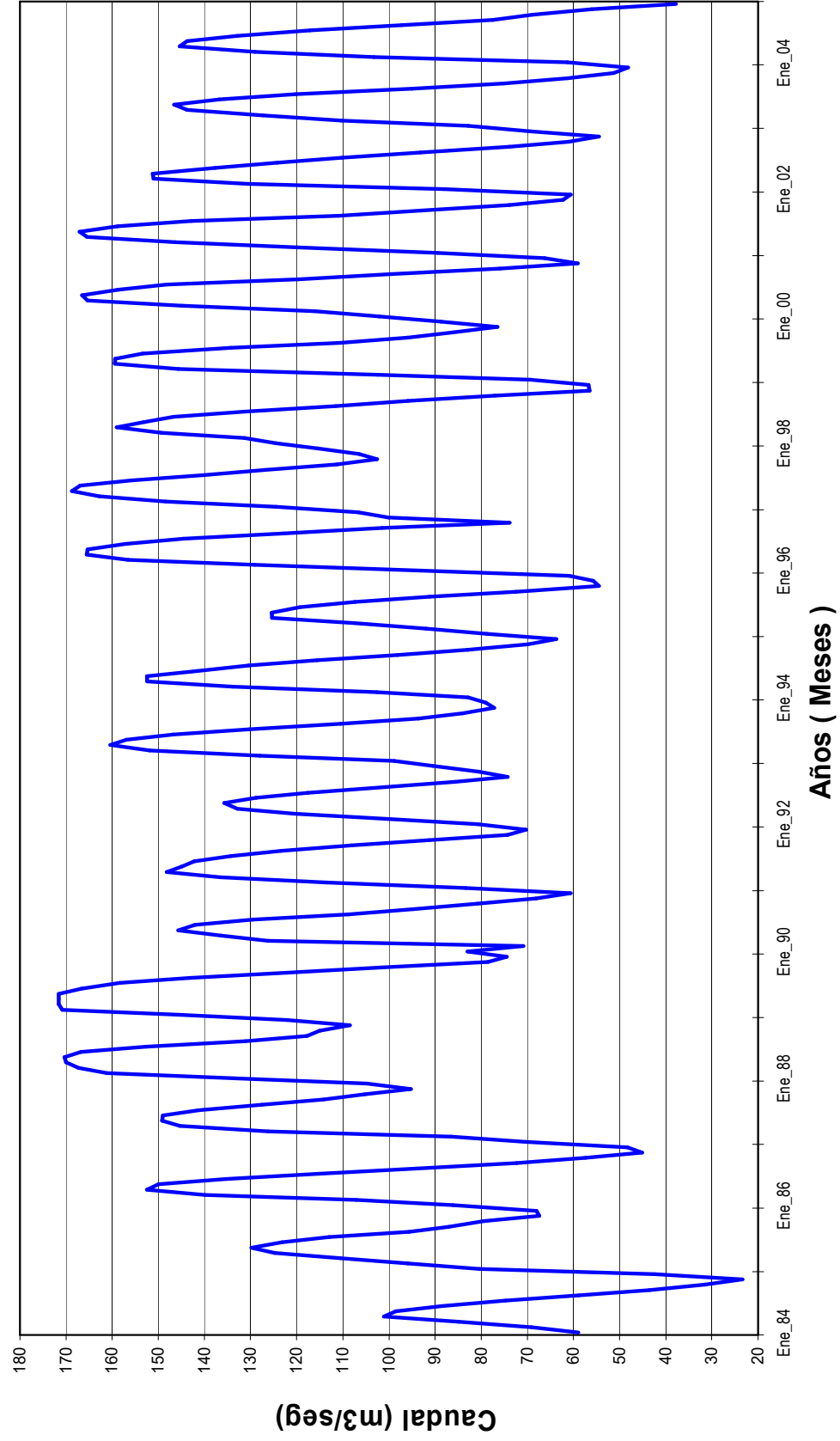


Gráfico 2.1

DATOS HISTORICOS
CAUDAL NATURAL DE SHEQUE
(1980- 2002)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1980	15,42	35,51	32,96	14,41	8,99	6,70	6,09	4,49	6,10	9,30	7,75	10,89
1981	14,31	11,79	17,42	10,06	5,67	4,60	4,70	3,81	4,69	5,71	8,83	6,99
1982	6,50	12,98	16,60	17,28	6,50	4,47	3,63	3,52	3,70	4,32	6,16	22,58
1983	36,64	17,75	16,29	15,96	10,81	6,32	5,49	3,79	6,81	6,54	5,35	11,95
1984	20,33	26,57	37,30	19,02	9,17	5,60	4,32	4,29	4,00	4,94	4,38	10,54
1985	26,08	21,62	47,93	25,91	10,06	6,85	4,99	4,33	4,27	5,48	4,83	12,62
1986	30,41	36,77	32,90	26,73	12,56	7,52	6,41	4,33	5,42	9,36	9,04	13,27
1987	24,18	30,59	22,16	12,85	5,91	6,16	5,04	4,47	4,83	5,28	5,13	7,79
1988	12,11	12,07	37,77	14,40	11,17	7,45	4,45	4,22	4,54	4,82	6,28	6,64
1989	18,76	29,36	24,77	13,51	5,79	7,06	4,87	4,67	4,50	3,87	3,20	5,36
1990	10,65	31,22	20,55	12,97	8,05	4,56	4,03	3,72	3,76	4,23	10,23	11,14
1991	10,83	31,03	19,22	11,16	5,61	4,56	3,40	3,66	3,50	5,53	4,72	7,38
1992	7,34	25,91	33,15	18,00	6,55	4,36	4,31	4,33	4,36	3,22	3,39	4,96
1993	14,24	13,43	17,91	16,49	5,78	4,45	3,23	2,77	3,26	7,93	10,15	13,97
1994	17,34	43,08	33,96	15,62	6,76	5,62	5,92	3,60	3,72	6,25	11,38	12,06
1995	15,31	39,19	20,46	12,99	7,37	4,19	4,15	5,89	3,96	5,66	9,65	11,02
1996	13,10	40,63	19,27	18,50	6,67	5,83	3,58	3,24	3,79	3,71	3,35	9,19
1997	14,23	45,37	42,63	22,97	11,10	6,70	4,56	4,02	4,73	6,33	6,31	18,09
1998	13,51	19,46	29,29	26,19	10,33	6,57	5,72	4,00	4,27	4,00	4,53	7,66
1999	26,12	31,34	34,96	26,73	12,83	6,54	5,52	4,03	4,24	4,34	4,84	6,80
2000	27,74	36,27	19,49	8,27	5,17	3,77	4,24	3,55	2,98	4,85	3,54	14,04
2001	20,06	30,82	18,35	21,41	10,58	5,57	4,15	3,00	2,92	3,97	4,73	6,63
2002	19,10	41,04	32,06	22,58	9,59	4,91	4,12	2,97	3,26	7,39	6,76	3,58

Cuadro 2.2

DATOS HISTORICOS
CAUDAL NATURAL DE SHEQUE
(1980 - 2002)

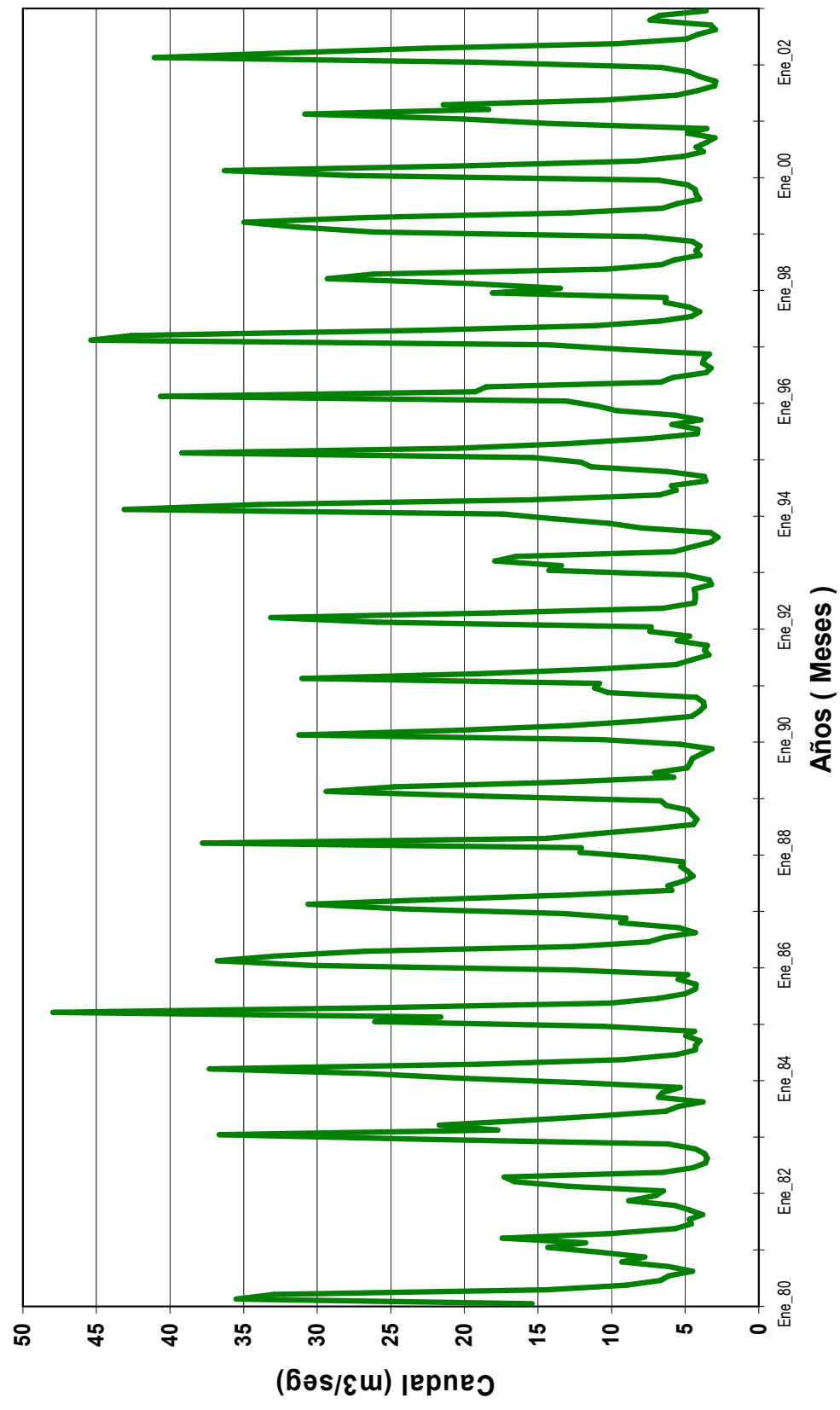


Gráfico 2.2

DATOS HISTORICOS
CAUDAL NATURAL DEL RIO RIMAC EN SURCO
(1980 - 2002)

Año	Ene.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1980	16	39,16	40,15	21,41	13,25	10,24	8,73	7,12	7	10,39	9,46	10,34
1981	14,82	14,73	19,85	12,05	9,35	6,91	5,85	5,64	5,87	7,33	9,61	11,68
1982	9,57	14,62	23,49	19	10,08	8,33	6,71	6,03	6,02	7,27	8,36	22,85
1983	44,87	25,34	21,27	18,02	14,26	10,59	8,7	7,5	9,07	10,03	9,7	16,52
1984	23,41	28,87	44,69	21,11	12,03	9,53	7,94	7,04	7,06	8,15	8,17	14,45
1985	21,31	28,93	56,39	33,69	14,65	10,67	9,2	7,67	7,88	8,79	8,98	16,98
1986	37,26	56,45	61,02	47,01	22,83	10,04	8,94	7,91	8	9,7	11,51	25,39
1987	35,3	38,68	40,54	26,83	14,23	11,52	9,1	7,64	7,64	7,62	9	10,48
1988	15,21	18,6	41,96	23,25	15,22	10,93	8,29	7,4	8,86	8,96	10,3	12,15
1989	23,56	42,04	38,69	22,07	13,55	10,91	8,53	8,033	8,23	8,98	10,5	13,16
1990	15,46	35,5	28,95	17,9	13,53	9,82	8,35	7,47	8,05	9,07	16,4	15,14
1991	21,85	36	22,75	14,82	11,6	9,53	8,64	7,26	8,31	9,25	11,23	13,9
1992	12,19	33,93	37,69	20,46	11,63	9,35	7,96	7,23	8,27	8,56	9,23	10,3
1993	17,6	18,19	21,03	16,64	10,64	8,92	7,11	6,34	7,26	12,56	13,15	16,36
1994	22,86	47,11	41,77	19,87	12,69	9,87	8,42	7,69	6,84	9,43	12,75	16,77
1995	23,36	49,73	30,73	19,65	12,35	8,8	7,82	6,51	6,28	8,56	13,19	13,07
1996	14,39	13,42	19,72	23,3	13,8	10,33	8,38	8,2	8,36	9,31	9,13	18,08
1997	17,91	49,14	42,5	29,33	16,83	12,81	9,16	7,1	7,6	10,63	12,95	25,21
1998	16,13	24,96	34,95	31,1	14,3	10,58	6,4	6,45	7,1	7	7,2	8,5
1999	33,58	41,12	42,71	33,92	22,98	12,31	10,13	8,59	7,83	8,23	10,54	15,46
2000	32,9	36,09	26,01	14,57	11,44	9,7	8,45	8,33	8,27	9,13	11,22	15,7
2001	25,4	36,36	28,25	29,11	12,9	9,6	8,22	8,07	8,07	8,56	9,1	13,6
2002	30,5	42,6	43,1	29,5	14,8	10,8	8,6	7,7	7,7	9,1	9,4	9,2

Cuadro 2.3

DATOS HISTORICOS
CAUDAL NATURAL DEL RIO RIMAC EN SURCO
(1980 - 2002)

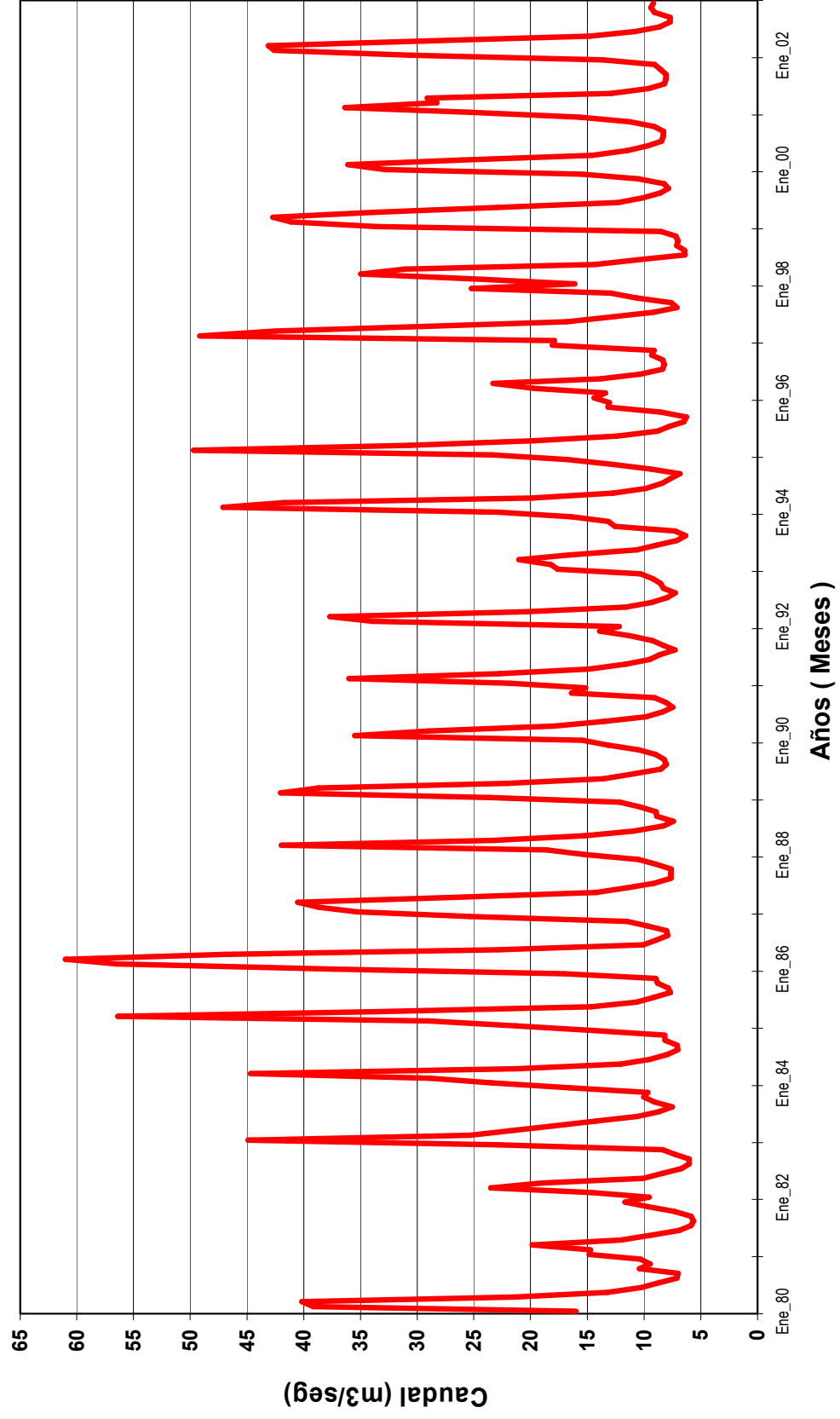


Grafico 2.3

CAPITULO 3

DESCRIPCION DE LA CENTRALES Y DE LAS TUBERIAS FORZADAS

3.1 CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL

La Central de Huinco se ubica en la hoya del río Santa Eulalia, sus caudales son regulados en el embalse Sheque de 430,000 m³ de capacidad,

Las aguas son captadas, mediante una bocatoma y la central Huinco, es un túnel de presión de 13,120 m de longitud, de sección media de 8.0 m² y un caudal de diseño de 26 m³/seg.

En el año de 1964, ELECTROLIMA puso en servicio la central, dotado de cuatro grupos generadores de energía y alimentados con una tubería forzada, la que fue construida e instalado por la firma VOEST ALPINE de Austria en el mismo año.

TÚNEL DE ENTRADA A LA CASA DE MAQUINAS



VISTA SUPERIOR DE LA CENTRAL – PATIO DE LLAVES



ENTRADA AL BY-PASS Y AL EMBALSE



3.1.1.1 EMBALSE SHEQUE.

El embalse de Sheque tiene una capacidad de 430,000 m³ recibe agua desarenada de los ríos Canchas, Sacsa y Pilligua, el agua del río Sacsa es conducido por un túnel de derivación 738.5 m. a la toma del río Canchas donde se une con las aguas de este río para pasar luego por el desarenador y descargar finalmente en el embalse de Sheque.

El embalse de Sheque es de regulación semanal y entra un promedio de 11 m³/seg. Proveniente de los ríos Canchis y Sacsa su envío es de pocos m³ hasta 25 m³/seg. En las horas punta.

TOMA CANCHIS - AGUAS ABAJO



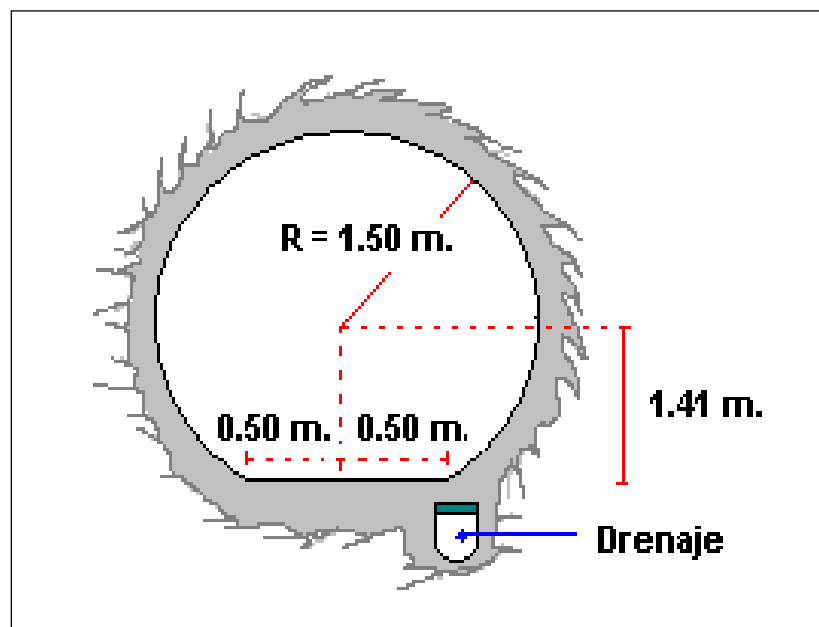
3.1.1.2 TUNEL DE PRESION

El agua captada en el embalse de Sheque es conducida hasta la tubería de presión por un túnel de presión de 13320 m. de longitud y un diámetro interior de 3m. revestido de concreto con un espesor mínimo teórico de 30 cm. La parte final 210 m. antes de la cámara de válvulas, han sido protegida mediante un blindaje metálico es consideración a la fuerte meteorización de las rocas a la superficie.

Unos 200 m. antes de la cámara de válvulas, un tramo inclinado revestido de acero de 3 m. de diámetro, conecta al túnel de presión con el repertorio interior de la cámara de equilibrio.

Este reservorio de disposición horizontal tiene 140 m. de largo y un diámetro de 6 m. dimensión suficiente para evitar aspiraciones en el túnel en caso de cierre de todas las turbinas en 60 seg. Desde la plena carga hasta el 10% de la misma, con el nivel del agua mínimo en el embalse seguido de un incremento de carga en que el refluo en el túnel (por razón de cierre inicial) hubiera adquirido su velocidad máxima , el reservorio inferior está conectado por medio de un pozo inclinado de 3 m. de diámetro con un cámara de expansión al aire libre dimensionada para una oscilación hasta de 12 m. sobre el nivel máximo del embalse de compensación causada por el cierre completo de las turbinas en 60 seg.

TÚNEL A PRESIÓN – PERFIL



3.1.1.3 CAMARA DE VALVULA

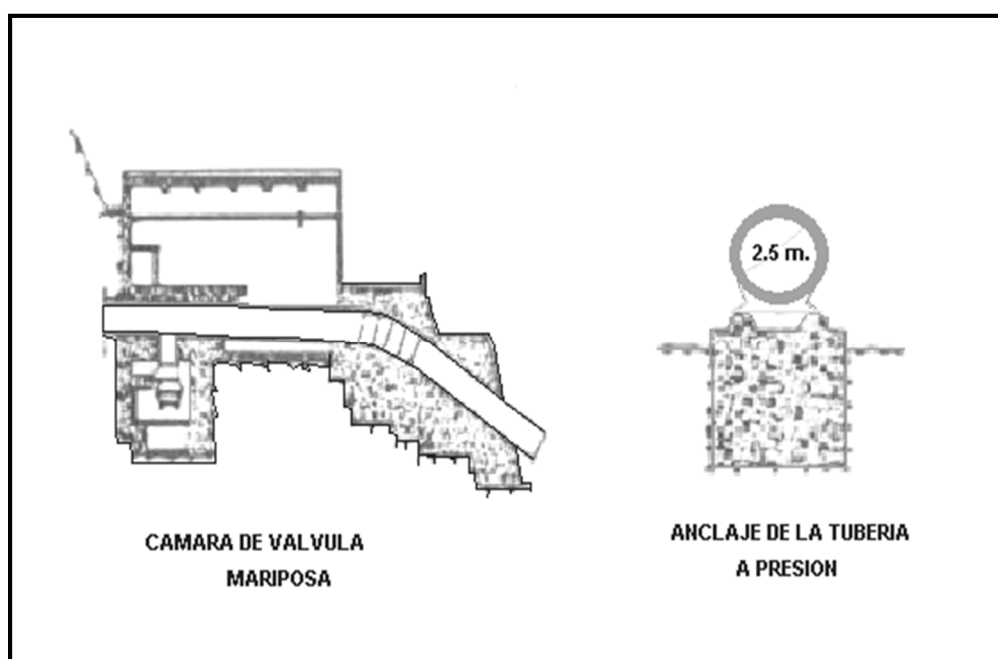
La galería de presión termina en la cámara de válvula en donde empieza la Tubería de Presión. Entre ambas se ha instalado una válvula mariposa, con un diámetro interior de 2.5 m. que opera normalmente abierto bajo presión de aceite. Esta válvula se cierra automáticamente por efecto de un contrapeso al cual cae al descargarse el sistema de presión de aceite cuando la velocidad del agua excede el máximo admisible como resultado de alguna falla en el sistema.

Puede también ser cerrada por control remoto desde Huinco mediante un impulso de corriente continua por un inductor magnético y normalmente en el mismo lugar.

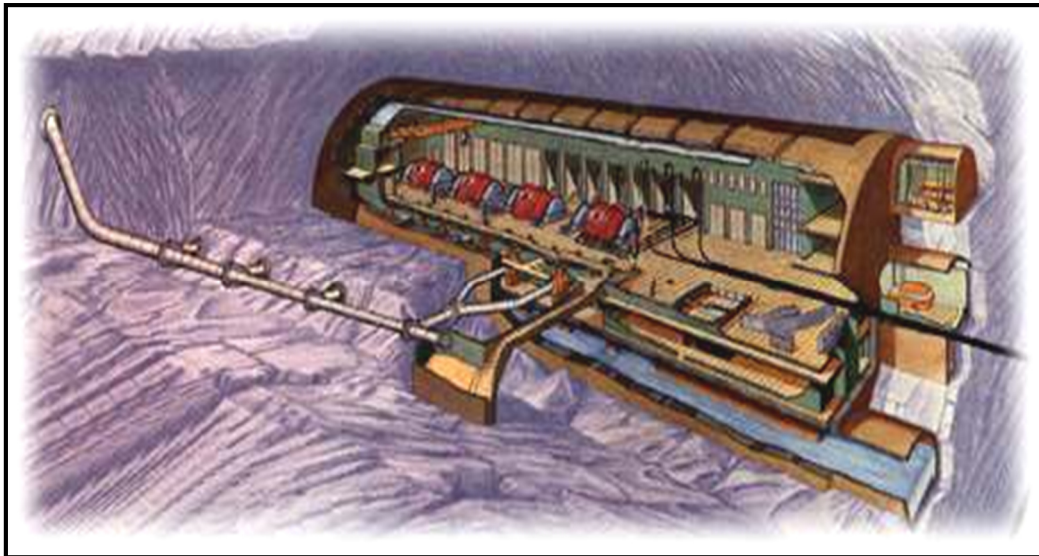
La válvula una vez cerrada, solo puede ser abierta en el sitio obligando de este modo al personal a investigar la razón de cierre. Aguas debajo de la válvula mariposa se encuentra una válvula automática de ventilación para admitir aire cuando se vacía la Tubería a Presión.

Antes de la válvula mariposa se ha instalado una cámara de retención (desarenador) que tiene por objeto retener cualquier material que podría ser arrastrado por el agua hasta ese punto.

El material detenido puede ser desalojado sin necesidad de vaciar la galería de presión.



CASA DE MAQUINAS



CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRAL

Año de la puesta en servicio.....	1964 (1) – 1965 (2 y 3) 1966 (4)
Casa de maquinas.....	.Construida en caverna de 108 m de largo por 30 m. de ancho y 24 m de altura.
Potencia de la Central	260 MW..
Potencia Nominal Turbina	68,6 MW por grupo
Caudal Nominal.....	6.25 m ³ /seg.
Potencia Nominal Alternador	85 MVA por grupo
Factor de Potencia	0.76
Altura Nominal	1245 m
Numero de grupos	04
Tipo de Turbina.....	Peltón de eje horizontal
Número de Turbina por grupo.....	02
Número de inyectores por turbina.....	01
Tubería Forzada.....	Una sola para toda la planta Una cuarta parte visible y el tramo restante empotrado

CASA DE MAQUINAS (Vista de las turbinas)



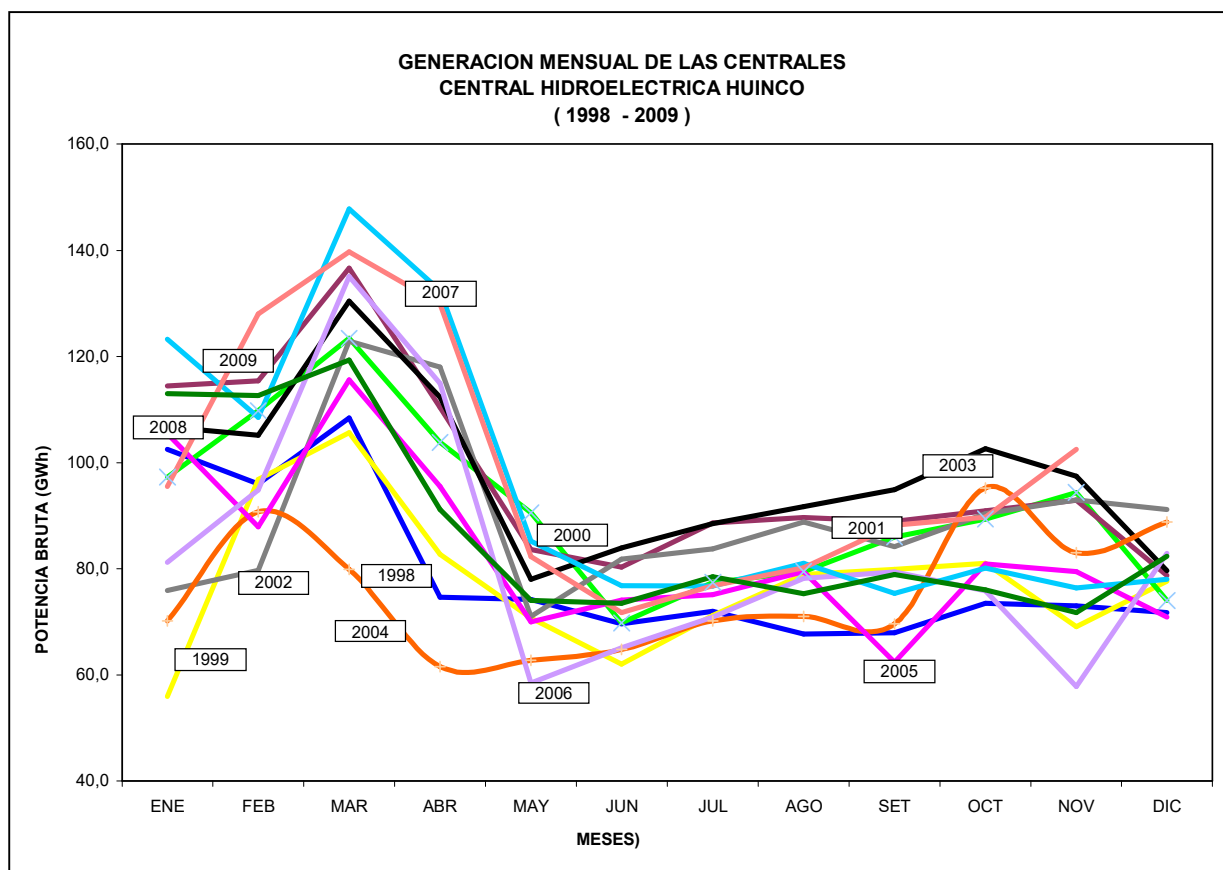
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS TURBINAS

	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4
Fabricante	Riva -Milano	Hidro Vevey	Riva -Milano	Riva -Milano
<i>Tipo</i>	Peltón – (e.h)	Peltón – (e.h)	Peltón – (e.h)	Peltón – (e.h)
<i>Año</i>	1964	1965	1965	1966
<i>Altura bruta</i>	1290 m.	1290 m.	1290 m.	1290 m.
<i>Altura Neta</i>	1245 m.	1245 m.	1245 m.	1245 m.
<i># Turbinas.</i>	2	2	2	2
<i>Potencia</i>	93200 CV	68.6 MW	93200 CV	93200 CV
<i>Diámetro ext.</i>	3400 mm.	3400 mm.	3400 mm.	3400 mm.
<i>Diámetro Med.</i>	2860 mm.	2860 mm.	2860 mm.	2860 mm.
<i># Cucharas</i>	22	23	22	22
<i>Material</i>	G-X5CrNi13.4	G-X5CrNi13.4	G-X5CrNi13.4	GFCor 134-80
<i>Peso del rodete</i>	10620 Kg.	11000 Kg.	10620 Kg.	10620 Kg.
<i># Inyectores</i>	2	2	2	2
<i>Diám. Chorro</i>	165 mm.	165 mm.	165 mm.	165 mm.
<i>Áng. de Aguja</i>	55°	55°	55°	55°
<i>Material Aguja</i>	Cor 13.4	Cor 13.4	Cor 13.4	Cor 13.4
<i>Diám. Tobera</i>	215 mm.	215 mm	215 mm	215 mm
<i>Material Tobera</i>	Cor 13.4	Cor 13.4	Cor 13.4	Cor 13.4

**GENERACION BRUTA MENSUAL (GWh)
(1998 – 2009)**

CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ENE	102,5	55,9	97,3	114,4	75,9	106,7	70,2	105,4	81,2	123,2	113,0	95,5
FEB	96,0	96,8	109,8	115,4	79,7	105,2	90,7	87,9	94,8	108,5	112,6	128,0
MAR	108,4	105,6	123,4	136,6	122,9	130,4	79,9	115,6	135,1	147,8	119,3	139,7
ABR	74,6	82,7	103,8	110,4	118,0	112,3	61,6	95,5	114,9	132,4	91,2	129,9
MAY	74,2	70,7	90,5	83,6	71,0	78,0	62,7	70,0	58,5	85,2	74,0	82,3
JUN	69,6	62,0	69,8	80,3	81,8	83,9	64,8	74,1	65,1	76,8	73,5	71,7
JUL	72,0	71,2	77,4	88,6	83,7	88,5	70,2	75,1	70,9	76,7	78,5	76,8
AGO	67,7	78,9	79,5	89,6	88,8	91,7	71,0	79,5	78,2	81,0	75,3	80,2
SET	67,9	79,9	86,0	88,9	84,2	94,9	69,6	62,4	79,4	75,4	78,9	88,2
OCT	73,5	81,0	89,4	90,9	90,4	102,6	95,2	80,9	75,8	80,1	76,0	89,7
NOV	73,0	69,1	94,4	92,9	93,0	97,4	83,0	79,5	57,8	76,4	71,7	102,5
DIC	71,7	77,6	74,0	78,7	91,2	79,6	88,8	70,9	82,9	78,0	82,4	117,7
TOTAL	951,2	931,4	1095,3	1170,3	1080,6	1171,2	907,7	996,8	994,6	1141,5	1046,4	1202,2



3.1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS TUBERÍAS FORZADAS

a.- CARACTERÍSTICAS

Fabricante.....	VOEST ALPINE
Procedente	AUSTRIA
Numero de tuberías	01
Juntas transversales.....	06
Juntas longitudinal.....	06
Elevación de la taza.....	3,069.13 m.s.n.m.
Elevación de la tubería en la sala de máq.	1,876.60 m.s.n.m.
Longitud total promedio	1982...57.m.
Espesor mínimo.....	10 mm.
Espesor máximo	40 mm.
Diámetro interno (arriba).....	2.5 m.
Diámetro interior (abajo)	2.10 m.
Capacidad de conducción	25 m ³ /seg.
Temperatura de agua máx. y mín.	18 °C y 11 °C
Año puesta en servicio.....	1964

b.- DESCRIPCIÓN

Existen 4 tramos que serán considerados en la evaluación del proyecto:

De los cuales comprende Galería Forzada Blindada y la Tubería a presión

Tramo 1 : Galería Forzada Blindada

La Galería Forzada Blindada esta a 210 m. antes de la cámara de válvulas y a sido protegida mediante un blindaje metálico en consideración a la fuerte meteorización de la roca a la superficie.

La Galería está revestido de acero de 3 m. de diámetro conecta en túnel de presión con el reservorio interior de la cámara de equilibrio.

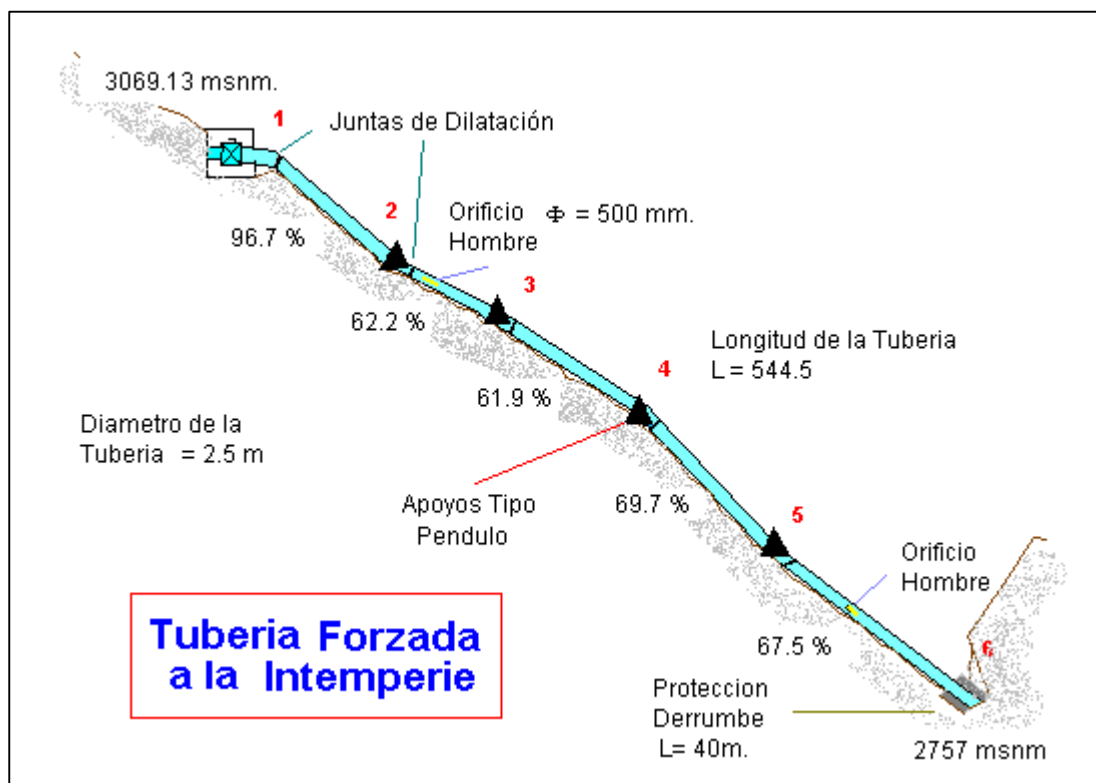
♦ Tubería a presión

Se divide en tres tramos :

Tramo 2 : Tubería Forzada a la Intemperie (TFI)

La primera parte consiste de la tubería a presión al aire libre hasta la cámara de válvula hasta la quebrada de Casta, colocada en la falda de la montaña tiene una longitud de 552.98 m y un diámetro de 2.5 m en su interior y está fabricado con acero Aldrey 55 y 58.

El espesor de la tubería en esta parte varía desde 10 a 30 mm. en la parte baja.



Tramo 3 : Galería Inclined Blindada (GIB)

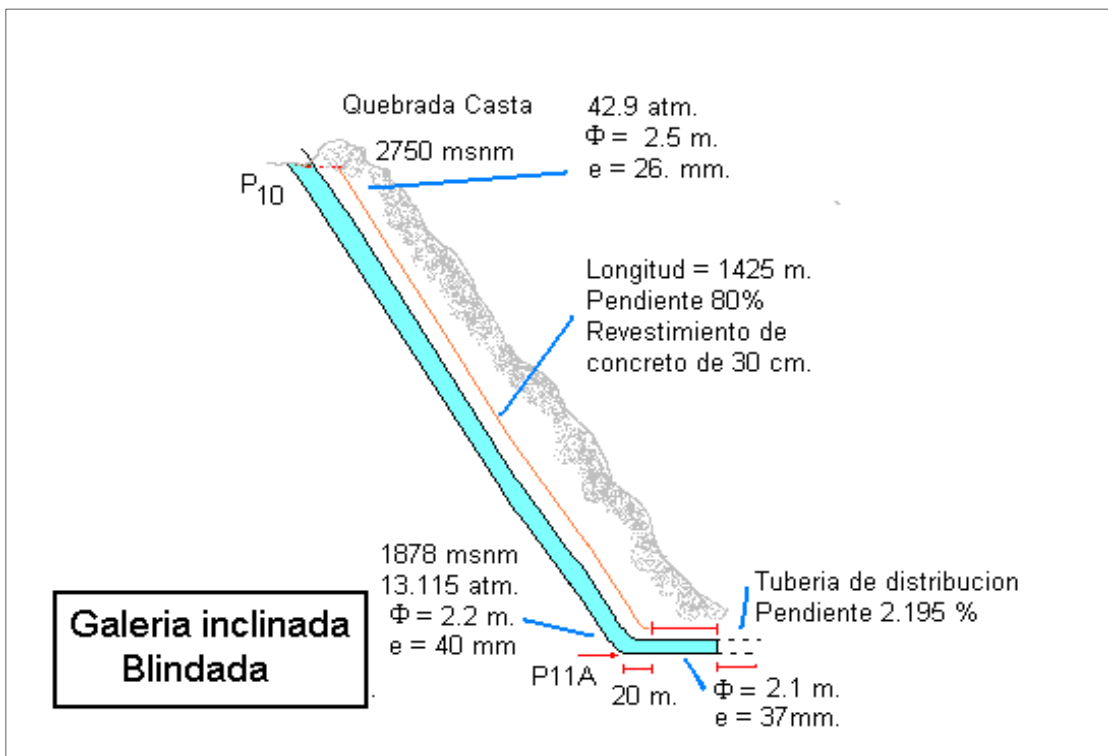
La segunda parte es la Galería Inclined Blindada desde la quebrada de Casta, hasta la Central de Huinco tiene una longitud de 1400 m un diámetro de 2.5 m arriba y 2.10 m abajo el espesor varía desde 20 a 40 mm. en la parte baja, una pendiente de 90% y está fabricado con acero Aldrey 50 y 53.

El espacio entre blindaje y la roca fue llenado de concreto ‘PRESPACK’, el blindaje está diseñado para soportar por lo menos el 50% de la presión interna, el resto de la presión lo soporta la roca, el blindaje tiene una resistencia adecuada para evitar abolladuras cuando este vacío.

Al final de la galería inclinada esta la tubería de distribución, que como su nombre lo indica, distribuye el agua a las 6 turbinas, cada rama tiene 0.60 m de diámetro en su parte final y un espesor de 32 mm.

En el extremo de la tubería de distribución se ha colocado una tapa que permite el acceso para las inspecciones, dos válvulas en serie de drenaje y un destructor de energía. Zullare, permite el vaciado de la tubería a presión

Tiene una longitud de 1495.381m con un diámetro interior variable entre 2.5 m. y 2.10 m.



Tramo 4 : Tubería Forzada de Distribución

Este tramo se encuentra en la casa de maquinas con una longitud 229m y un diámetro promedio de 0.9 m. está dividida en 4 secciones.

En el extremo de la tubería de distribución se ha colocado una tapa que permite el acceso para las inspecciones, dos válvulas en serie de drenaje y un destructor de energía, Zulser, permite el vaciado de la tubería de presión

Tramo 1

Φ int = 1.0 mts.
 $e = <25,40>$ mm.
 Revestido : 75 cm.

Tramo 2

Φ int = 0.75 mts
 $e = 24$ mm
 Revestido : 50 cm.

Tramo 3

Φ int = $<75,65>$ cm
 $e = 24$ mm.
 Revestido = 75 cm.

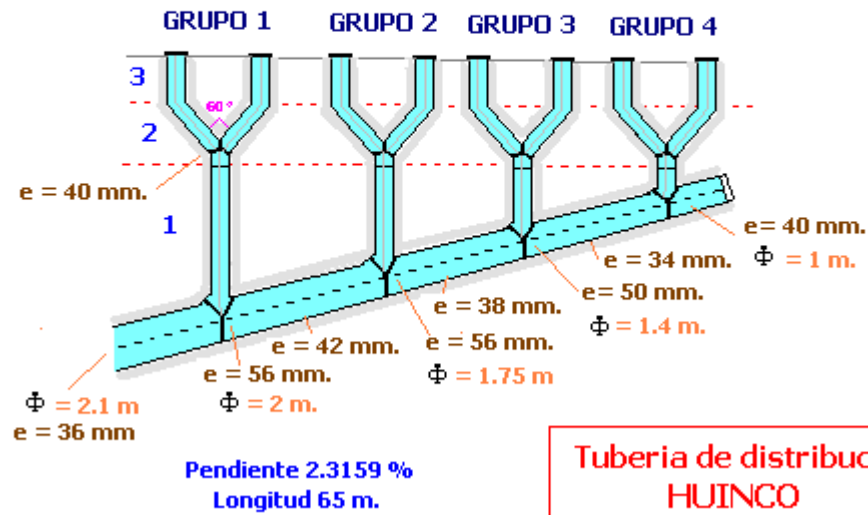


FOTO # 1

TUBERÍA FORZADA EN PROCESO DE INSTALACION

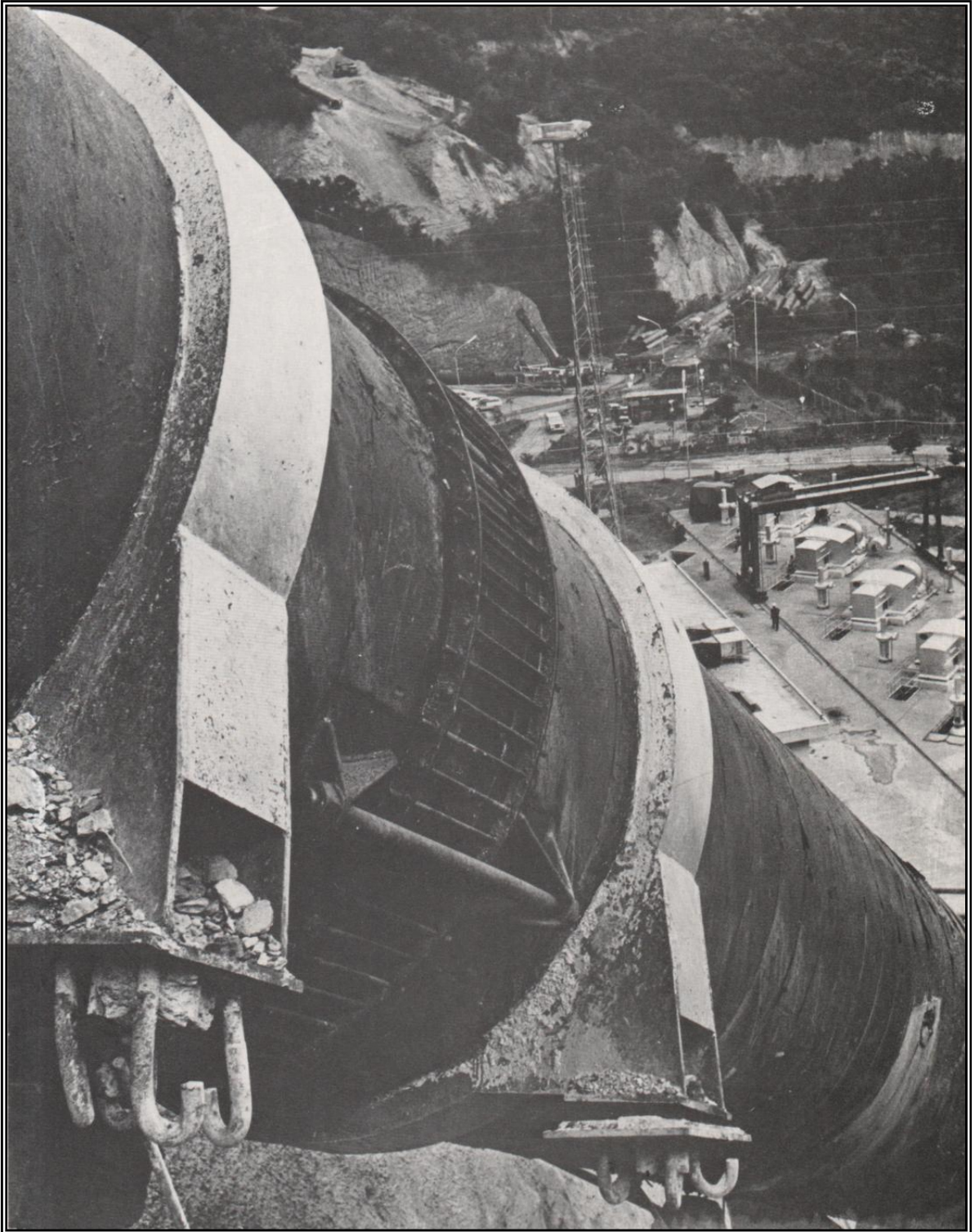


FOTO # 2

TUBERÍA FORZADA EN PROCESO DE INSTALACION

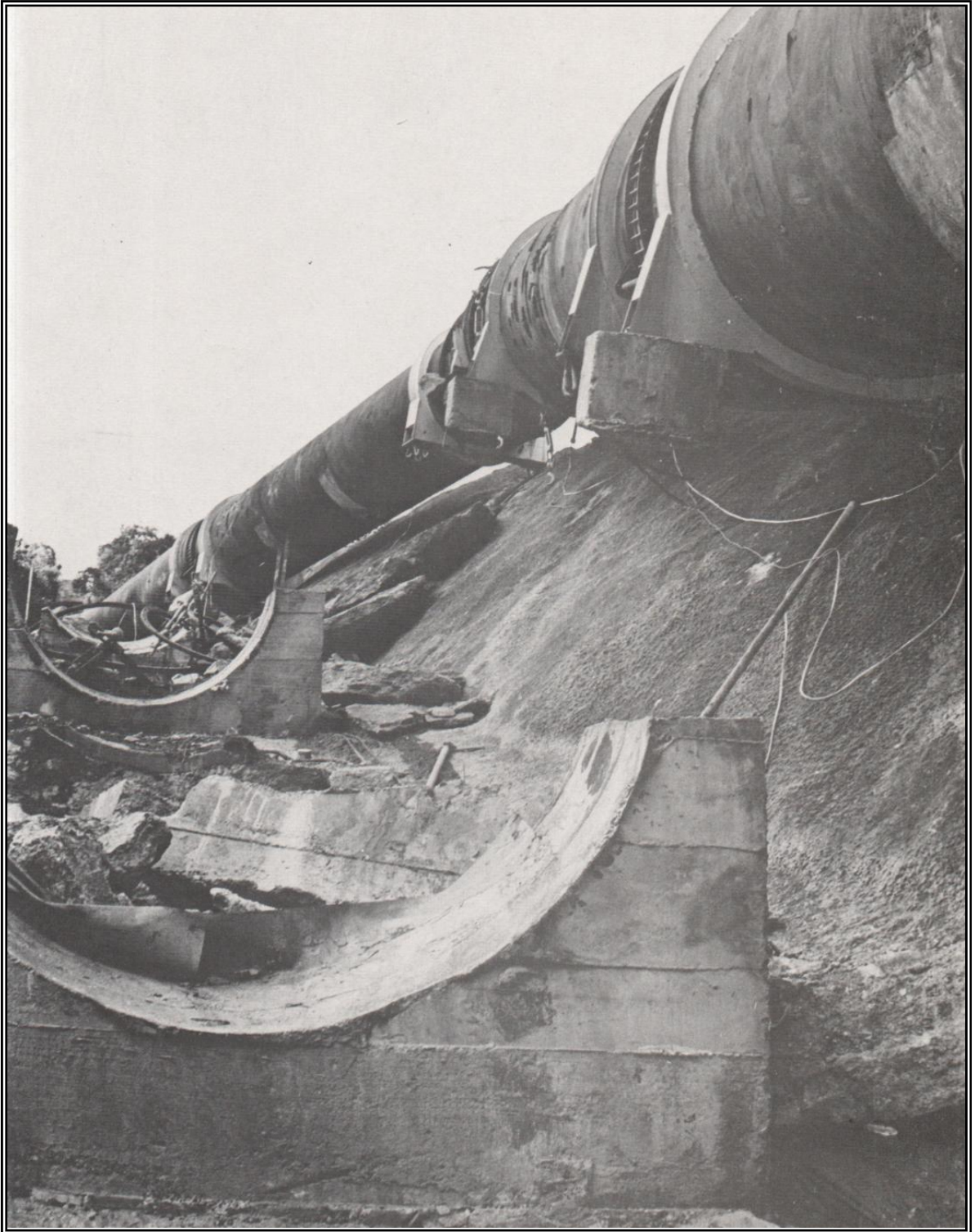
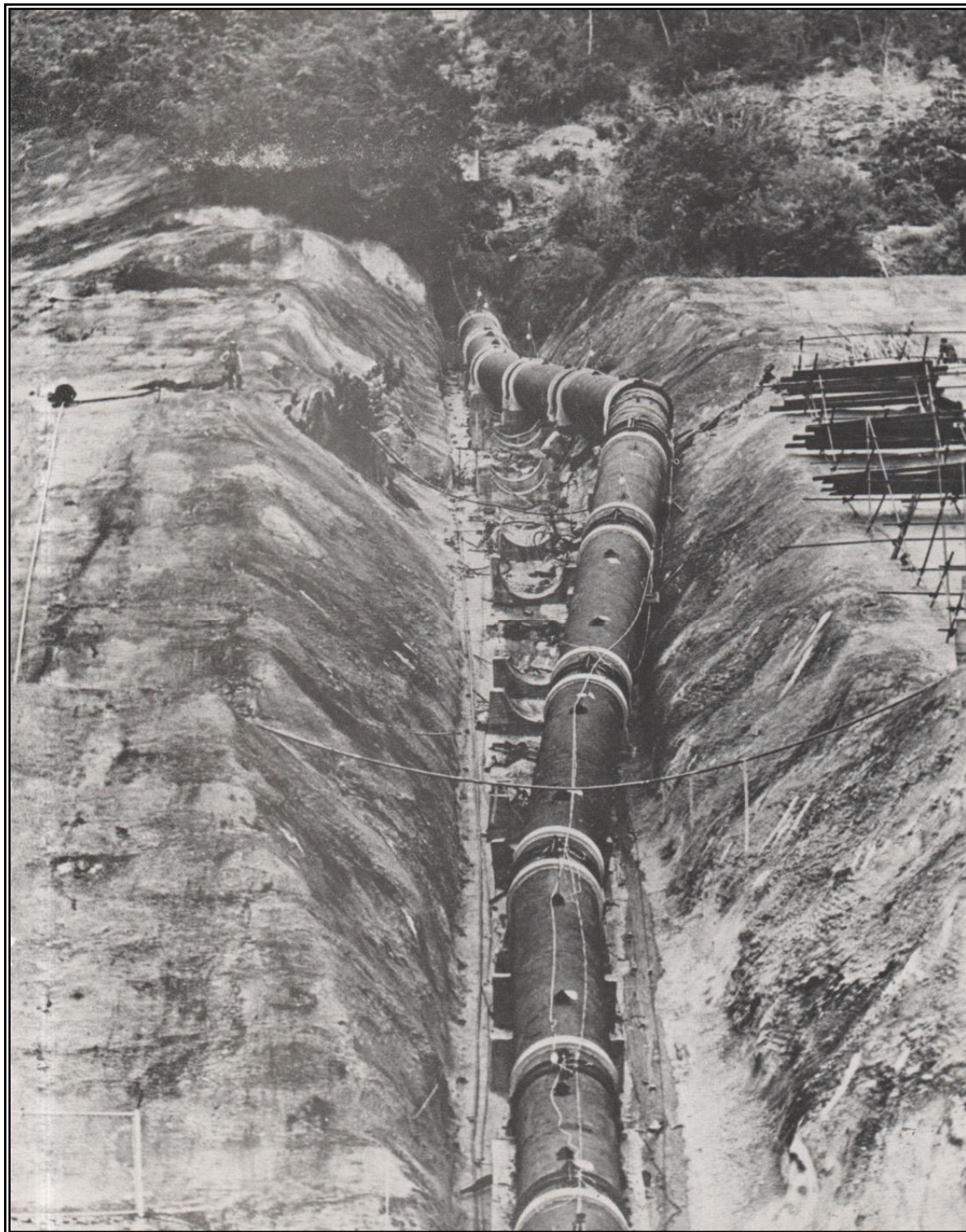


FOTO # 3

TUBERÍA FORZADA EN PROCESO DE INSTALACION



3.2 - CENTRAL HIDROELECTRICA MATUCANA

3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL

La Central Hidroeléctrica Matucana (Pablo Boner) aprovecha el potencial hidráulico del curso medio del río Rímac entre Tamboraque en la cota 2928 m.s.n.m. y Surco en la cota 1880 m.s.n.m. creando sobre la margen derecha del valle de caída bruta de 1048 m.

La planta es diseñada para derivar un caudal de 16 m³/seg. el cual con un pulmón de regulación permite que funcione con 2 unidades generadoras con un total de 120 MW. Tratándose de una planta de régimen básico, la conducción de las aguas motrices se efectúa a flujo libre, por una galería de 20 Km. de longitud y el pulmón de regulación hasta desembocar en una galería de presión

Desde el punto terminal de esta galería el agua se conducirá a través de una galería inclinada blindada de 1,848.92 m de longitud y 80% de pendiente hasta las turbinas de la casa de maquinas.

El pulmón dispone de un sistema de demasías para eliminar el agua sobrante por la quebrada de demasías, situadas aguas abajo de la toma de derivación del Rímac. La energía generada que servirá a las necesidades de la gran Lima, será transmitida mediante una línea de 220 KW. que se conecta con la línea Huinco - Lima y tendrá una longitud de 15 Km. de longitud.

VISTA PANORAMICA DE LA CENTRAL MATUCANA



CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRAL

Año de la puesta en servicio	1971 (2) – 1972 (1)
Casa de maquinas	Construida al aire libre de 48 m de largo por 12 m de ancho y 18 m de altura.
Potencia Nominal Turbina	63.84 MW. Por grupo
Caudal Nominal	7.5 m ³ /seg.
Potencia Nominal Alternador	80 MVA por grupo
Factor de Potencia	0.75
Altura Nominal	960 m
Número de grupos	02
Tipo de Turbina	Peltón de eje horizontal
Número de Turbina por grupo	02
Número de inyectores por turbina	01
Tubería Forzada	Una sola para toda la planta Totalmente empotrada



CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS TURBINAS

	GRUPO 1	GRUPO 2
Fabricante	Riva -Milano	Hidro Vevey
<i>Tipo</i>	Pelton	Pelton
<i>Año</i>	1972	1971
<i>Altura bruta</i>	987 m.	987 m.
<i>Altura Neta</i>	966 m.	966 m.
<i># Turbinas.</i>	2	2
<i>Potencia</i>	86822 CV	86622 CV
<i>Diámetro ext.</i>	3450 mm.	3450 mm..
<i>Diámetro Med.</i>	2820 mm.	2820 mm.
<i># Cucharas</i>	21	21
<i>Material</i>	GF Cor 13.4 - 80	GF Cor 13.4 - 80
<i>Peso del rodete</i>	11000 Kg.	11000 Kg.
<i># Inyectores</i>	2	2
<i>Ang. de Aguja</i>	55°	55°
<i>Material Aguja</i>	Stellite	Stellite
<i>Diam. Tobera</i>	250 mm.	250 mm
<i>Material Tobera</i>	Stellite	Stellite





SALA DE MAQUINAS



TOMA HUINCO



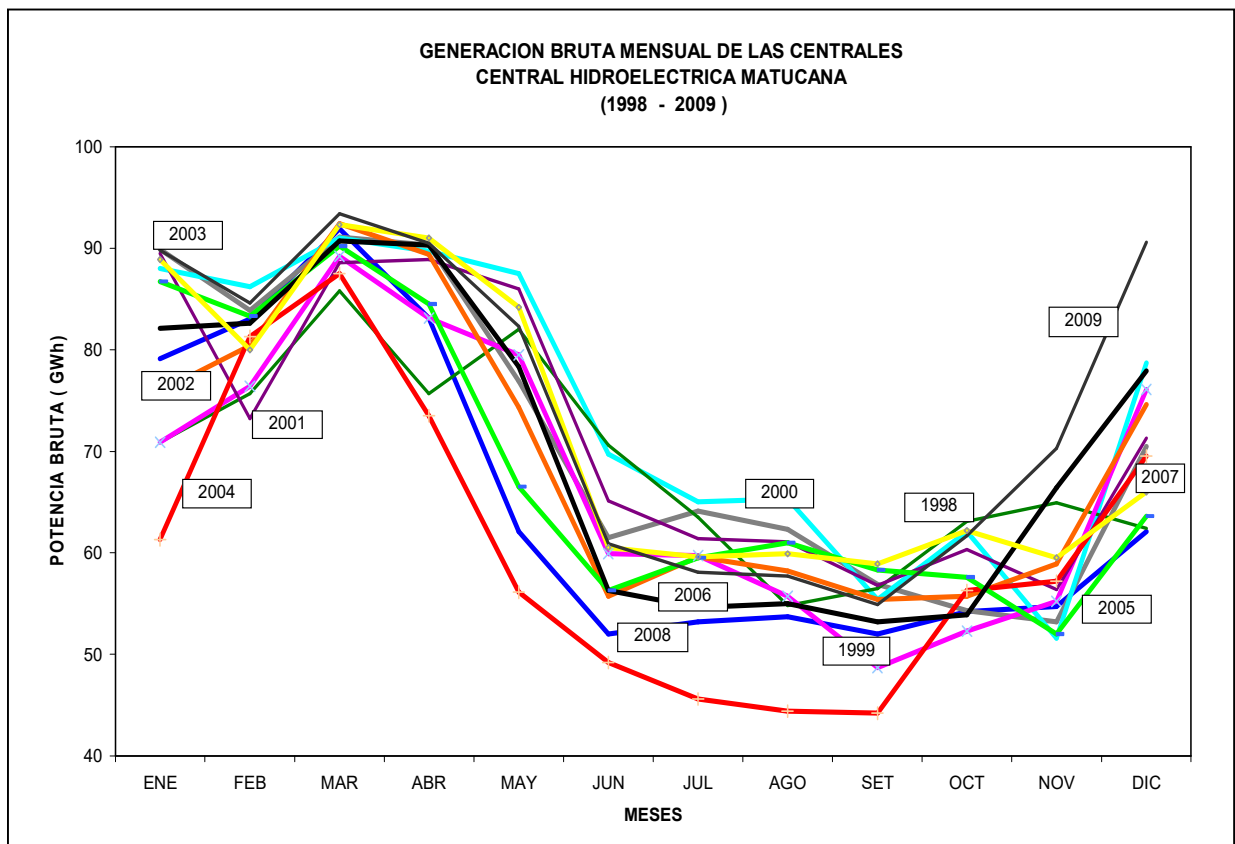
SALA DE VÁLVULAS ESFÉRICAS



GENERACION BRUTA MENSUAL DE LAS CENTRALES (GWh)
(1998 – 2009)

CENTRAL HIDROELECTRICA MATUCANA

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ENE	70,9	70,9	88,0	89,5	75,9	89,9	61,3	86,7	82,1	88,9	79,1	89,8
FEB	75,7	76,4	86,2	73,2	80,4	83,9	81,3	83,3	82,6	80,0	83,0	84,6
MAR	85,8	89,2	91,0	88,6	92,4	91,1	87,5	90,2	90,7	92,3	91,9	93,4
ABR	75,7	83,1	89,7	88,9	89,4	90,3	73,5	84,5	90,3	91,0	83,1	90,5
MAY	82,0	79,5	87,5	86,0	74,3	76,9	56,1	66,5	78,3	84,2	62,1	82,3
JUN	70,6	59,9	69,7	65,1	55,7	61,5	49,2	56,3	56,3	60,5	52,0	60,9
JUL	63,5	59,7	65,0	61,4	59,6	64,1	45,6	59,5	54,6	59,6	53,2	58,1
AGO	54,8	55,7	65,3	61,1	58,2	62,3	44,4	61,0	55,0	59,9	53,7	57,7
SET	56,5	48,7	55,4	56,8	55,4	56,9	44,2	58,3	53,2	58,9	52,0	54,9
OCT	63,1	52,3	62,1	60,3	55,7	54,3	56,3	57,6	53,9	62,2	54,2	61,7
NOV	64,9	55,2	51,6	56,4	58,9	53,2	57,2	52,0	66,4	59,5	54,7	70,3
DIC	62,4	76,1	78,7	71,3	74,6	70,5	69,5	63,6	77,9	66,0	62,1	90,6
TOTAL	825,9	806,7	890,2	858,5	830,4	855	496	559,3	585,9	601,8	527,1	627



3.2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS TUBERÍAS FORZADAS

a.-CARACTERÍSTICAS

Fabricante.....	VOEST ALPINE
Procedente	AUSTRIA
Numero de tuberías	01
Elevación de la taza.....	2,782 m.s.n.m.
Elevación de la tubería en la sala de Máq.	2,150 m.s.n.m.
Longitud total promedio	1824.78 m.
Espesor mínimo.....	10 mm.
Espesor máximo	40 mm.
Diámetro interno (arriba).....	2.2 m.
Diámetro interior (abajo)	1.8 m.
Capacidad de conducción	16 m ³ /seg.
Temperatura de agua máx. y min.	18 °c y 11 °c
Año puesta en servicio.....	1971

b.-DESCRIPCION

Solo presenta una tubería que esta empotrada.

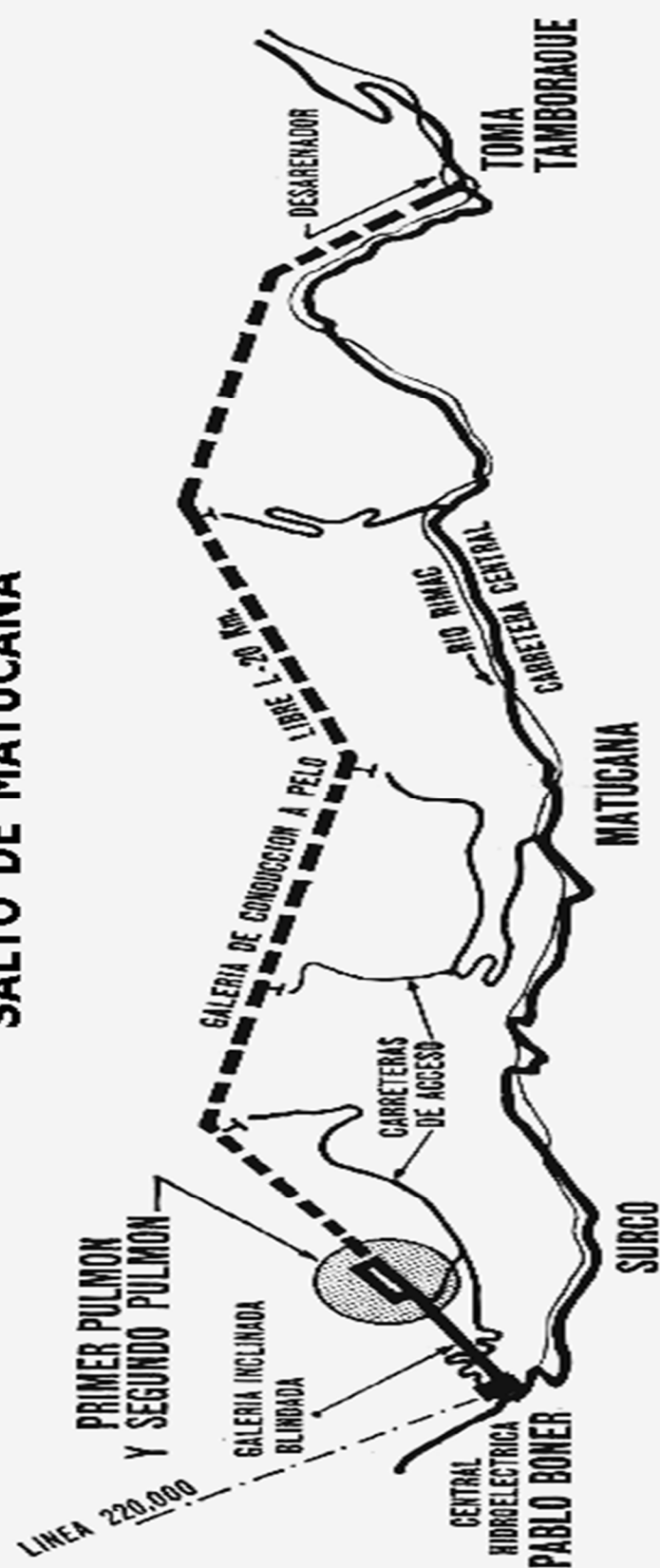
Galería Inclinada Blindada

La galería inclinada blindada tiene una longitud de 1824.78 m. con un diámetro interior variable entre 2.20 m. y 1.80 m

TRAMO	LONG. (m)	DIAM. PROM
VENT (8ª –9)	330.88	2.20
VENT (9 –10)	381.32	2.15
VENT (10 --11)	398.27	2.10
VENT (11 –12)	629.48	1.90
VENT (12 –TD)	84.83	1.80
TOTAL	1824.78	

TD = Tubería de distribución

SALTO DE MATUCANA



CAPITULO 4

EVALUACION TECNICA

En esta sección se determinarán las pérdidas de carga, tanto para tubería nueva y como tubería limpia y pintada, para la Central Hidroeléctrica de Huinco y la Central Hidroeléctrica de Matucana.

4.1 CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

4.1.1 CALCULO DEL ÁREA DE LA SUPERFICIE DE LA TUBERÍA FORZADA

a. Galería Forzada Blindada

Cálculo de la superficie interna

TRAMO	LONG. (m)	DIAM (m)	AREA SUP. (m ²)
--- P8	30	3.00	282.744
P8 --- P9	191	2.81	1,686.128
TOTAL	221		1,968.872

NOTA : Los valores característicos de cada tramo de la tubería se encuentran en el **Gráfico 1a**

b. Tubería Forzada a la Intemperie

Cálculo del área de la superficie interna

TRAMO	LONG. (m)	DIAM (m)	AREA SUP. (m ²)
P9 ---FP1	8.51	2.5	66.838
FP1 ---FP2	50.98	2.5	400.397
FP2 ---FP3	107.64	2.5	845.405
FP3 ---FP4	76.71	2.5	602.480
FP4 ---FP5	103.73	2.5	814.695
FP5 ---FP6	108.63	2.5	853.209
FP6 --- FINAL	96.78	2.5	760.110
TOTAL	552.98		4,343.105

NOTA : Los valores característicos de cada tramo de la tubería se encuentran en el **Gráfico 2a**

c. Galería Inclínada Blindada

Cálculo de la superficie interna

TRAMO	LONG (m).	DIAM PROM	AREA SUP. (m ²)
INICIAL – P10	9.847	2.5	77.338
P10 -- P11	1395.534	2.35	10,302.89
P11 ---C. M.	20	2.15	135.088
TOTAL	1425.381		10,515.32

CM = Cámara de maquinas

NOTA : Los valores característicos de cada tramo de la tubería se encuentran en el **Gráfico 3a**

d. Tubería Forzada de Distribución

Calculo del área de la superficie

TRAMO	LONG (m).	DIAM PROM	AREA SUP. (m ²)
A1 – A6	70	1.42	312.27
A2 – Grupo4	48	0.775	118.62
A3 – Grupo3	44	0.78	107.664
A4 – Grupo2	37	0.775	90.621
A5 –Grupo1	30	0.775	75.0385
TOTAL	229		704.209

NOTA : Los valores característicos de cada tramo de la tubería se encuentran en el **Gráfico 4a**

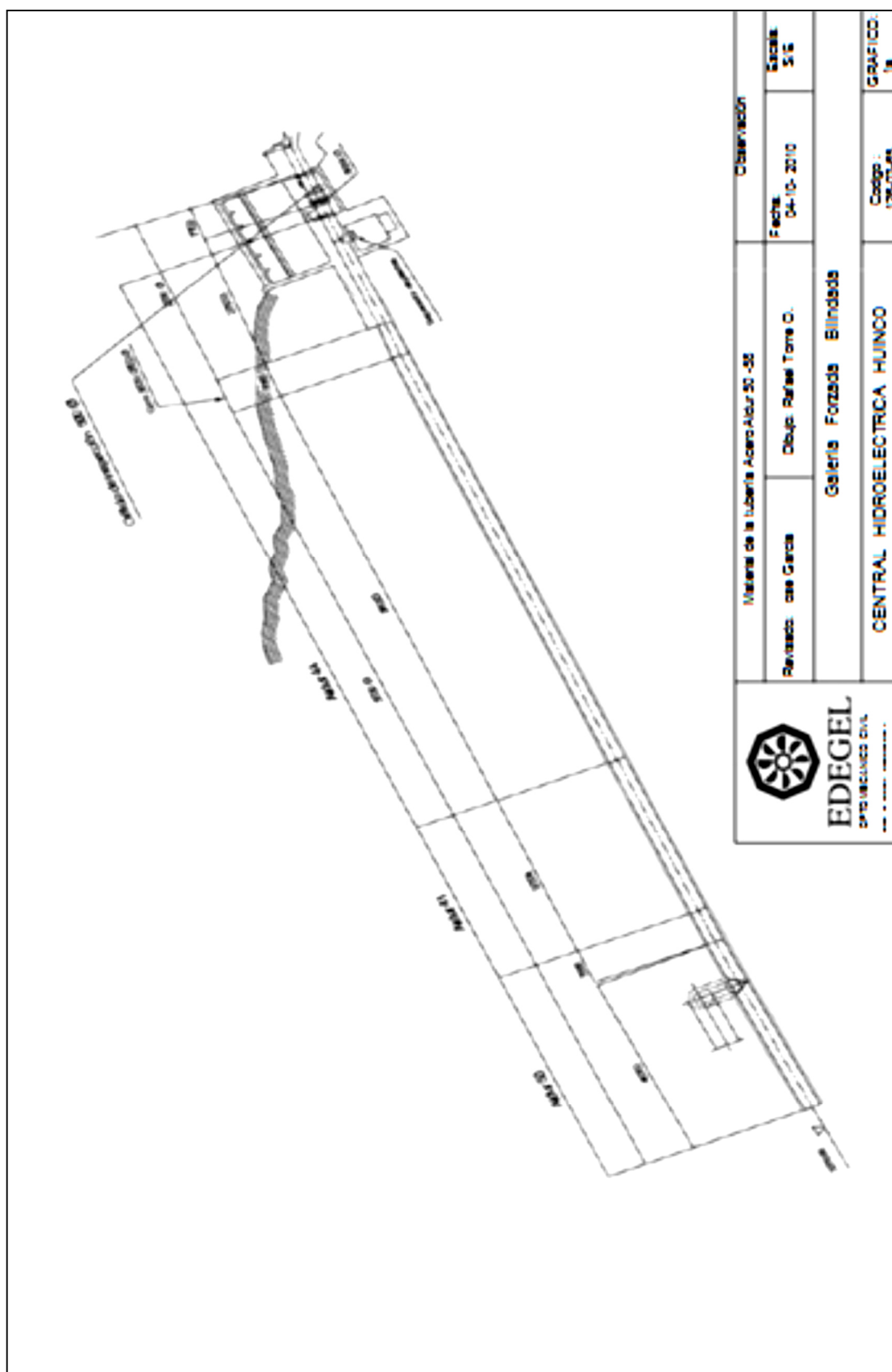
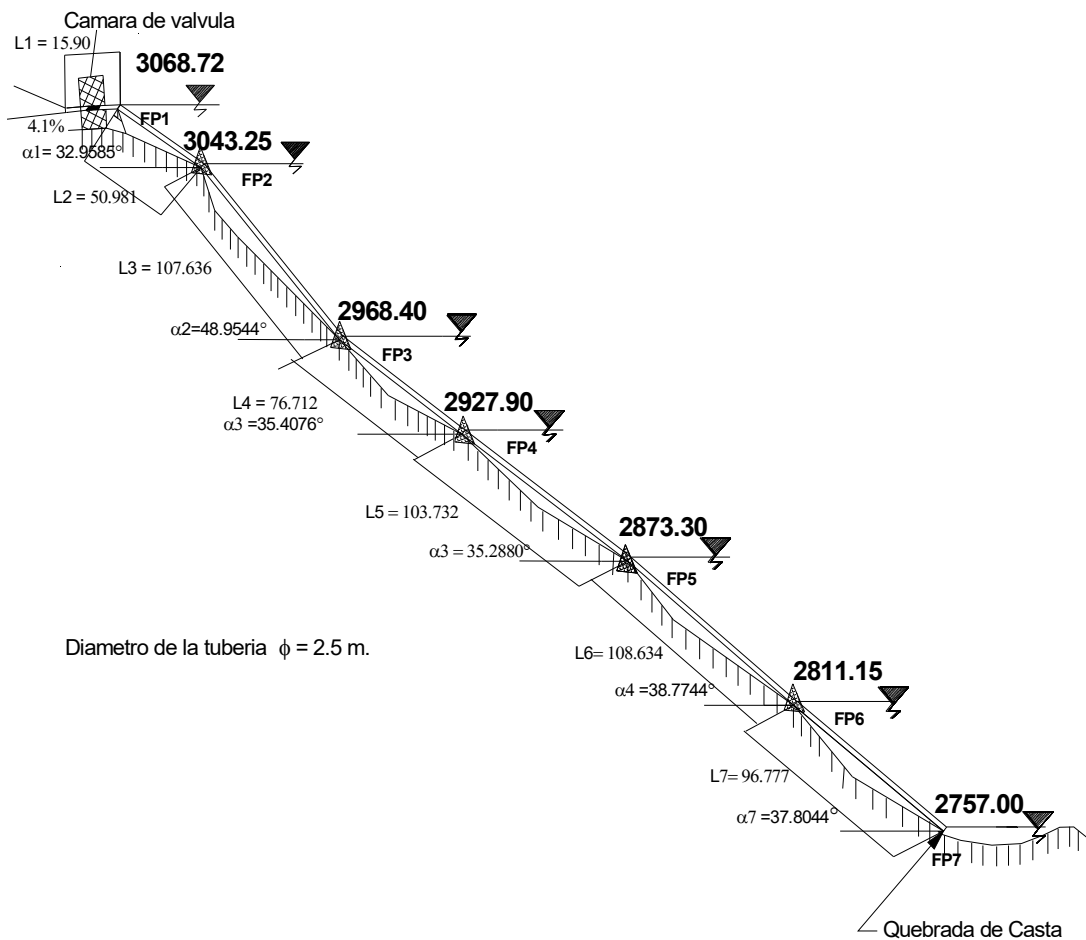


Gráfico 2a

Archivo : H-Tub-Int.DWG




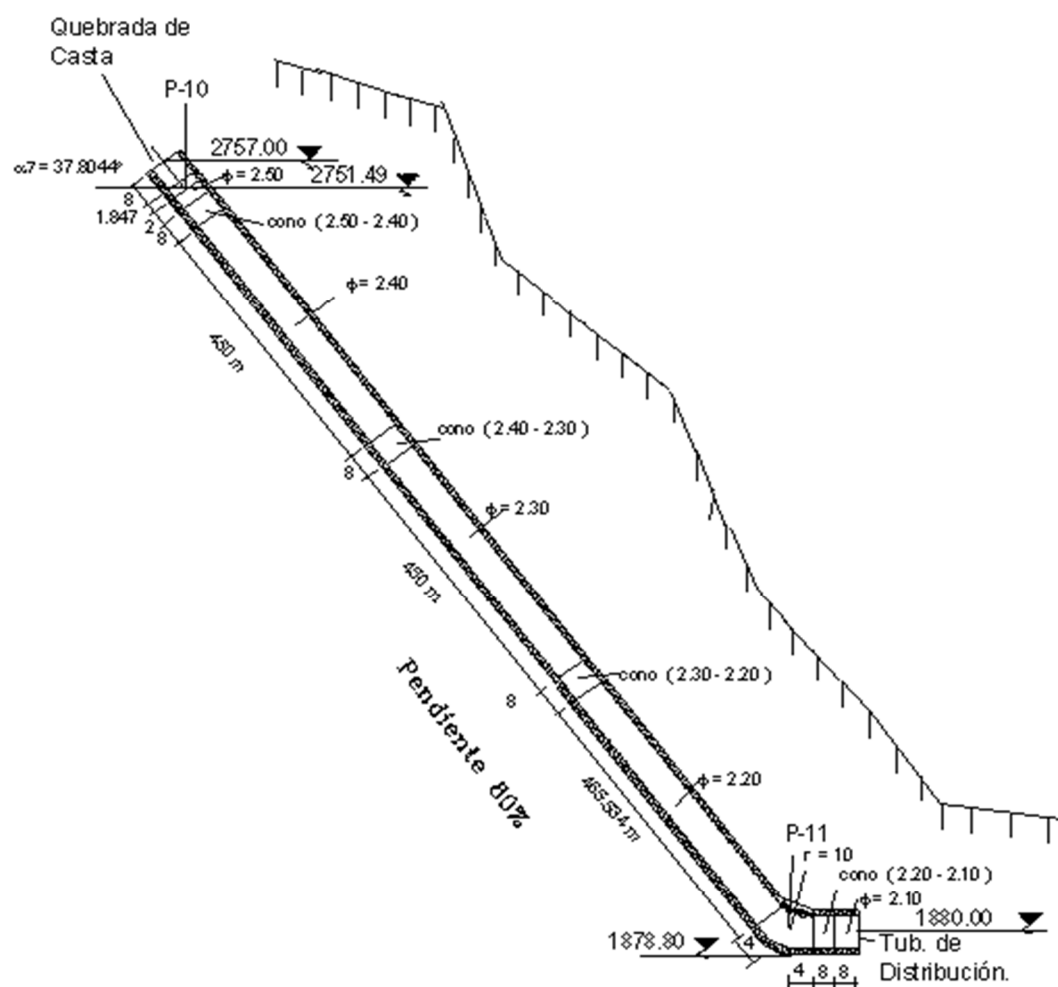
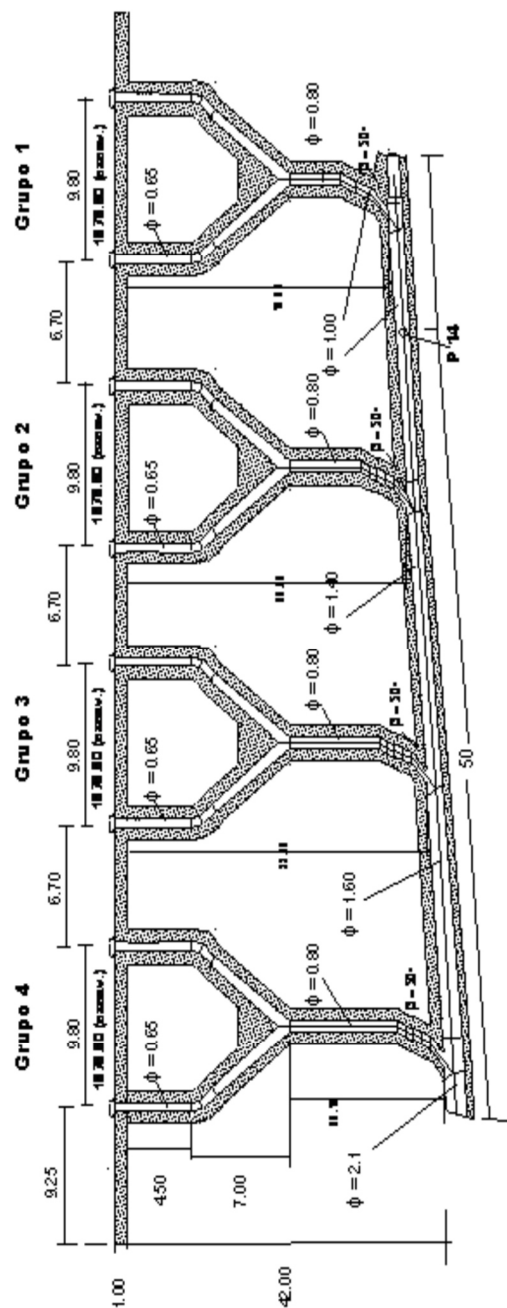
 EDEGEL DPTO MECANICO CIVIL <small>UNIDAD DE EQUIPOS HIDROMECANICOS</small>	Material de la Tuberia : Acero Aldur 50 - 58		Observación	
	Revisado: Jose Garcia	Dibujo: Rafael torre O.	Fecha: 04 -10 -2010	Escala: S/E
	TUBERIA FORZADA A LA INTEMPERIE			
	Central Hidroelectrica Huinco		Codigo: 226-12-03	GRAFICO 2 a

Gráfico 3a

Archivo: H-G-B.DWG



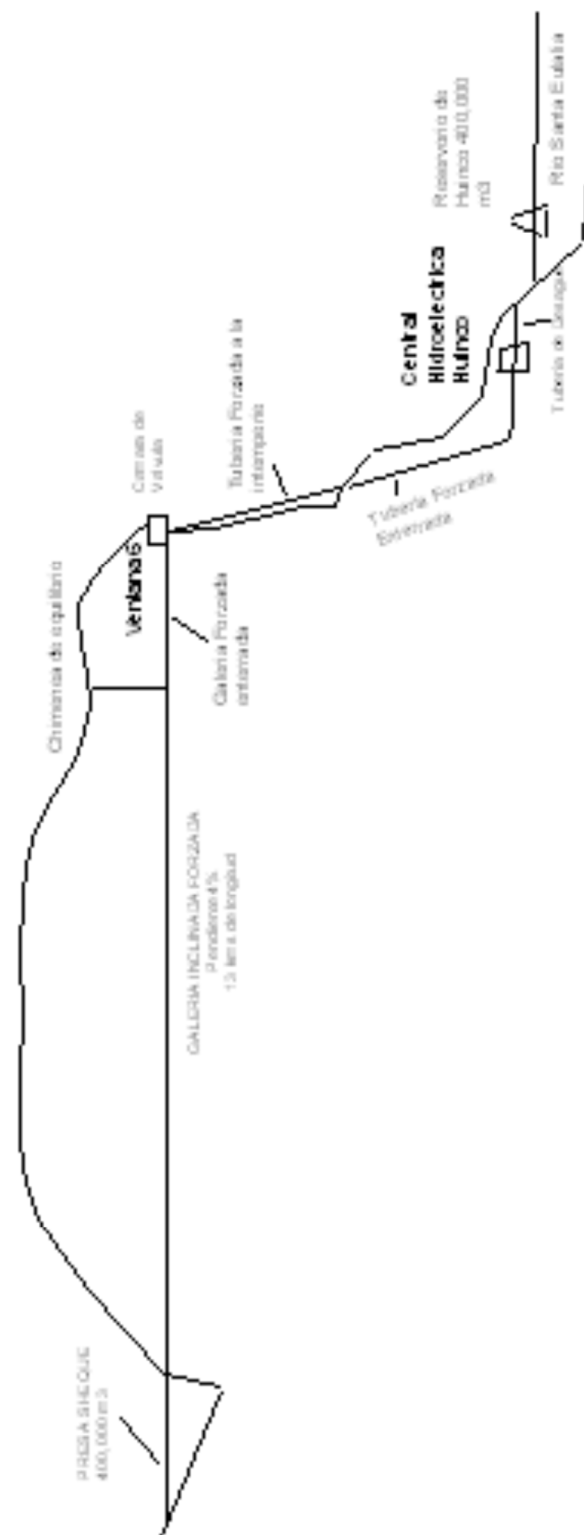
 EDEGEL DPTO. MECANICO CIVIL	Material de la Tubería : Acero Adu 50 - 58		Observación	
	Revisado: Jose Garcia	Dibujo: Rafael torre O.	Fecha: 04 -10 - 2010	Escala: S/E
	Tubería Inclinada Bndada			
	CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO		Código: 226-12-04	GRAFICO 3a



 <p>EDEGEL DPTO MECANICO CIVIL UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIOCUARTO</p>	Material de la tubería: Acero Aldur 50-58		Observación	
	Revisado: Jose Gardia	Dibujo: Rafael Torre O.	Fecha: 04/10/2010	Esca: SAE
	Tubería de distribución			
CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO			Codigo : 126-07-02A	GRAFI 4a

Gráfico 4a

PERFIL LONGITUDINAL DE LA CENTRAL HUINCO DESDE SHEQUE HASTA EL RESERVOIRIO DE HUINCO



 <p>DPTO MECANICO CIVIL DISEÑO MECANICO CIVIL</p>	Material de la tubería: Acero Aluor 50-58		Observación	
	Perfiles: Jose Garcia	Dibujos: Rafael Torre O.	Fecha: 04-10-2010	Escala: 3/4"
	Perfil Longitudinal			
CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO			Código: 125-07-02A	GRÁFICO: 5a

Gráfico 5a

4.1.2 PÉRDIDAS DE CARGA EN LA TUBERÍA FORZADA NUEVA (SIN CALICHE)

Para el cálculo de las pérdidas de carga, como tubería limpia se considera la rugosidad estar en un rango (0.05 – 0.1) mm. por lo cual se toma la rugosidad más crítica 0.10 mm. = 0.0001 m. (ver anexo 6.2)

Y con el caudal 25.55 m³/seg. ,ya que fue el caudal máximo realizada en la prueba efectuada en la central

a.- Galería Forzada Blindada (G.F.B.)

Hallando la pérdida de carga para el tramo de la tubería forzada blindada dadas las características que están en la tabla a completar.

Usamos las fórmulas :

1.- Número de Reynolds $Re = \frac{V D}{\nu}$

2.- Coeficiente de fricción – (Colebrook y White)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{2.52}{Re \sqrt{f}} \right)$$

3.- Fórmula de Darcy – Weisbach,

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Para encontrar el valor de f se resuelve por iteraciones.

Por lo cual usamos el programa en Visual Basic para completar la tabla

- Pérdidas por longitud

TRAMO	-- P8	P8---P9	Total
Longitud	30	191	221
Diám. Promedio Dt (m)	3	2.81	
Pendiente %	4.1%	4.1%	
Área A (m)	7.069	6.202	
Velocidad	3.61	4.12	
Rugosidad de la tubería (m)	0.0001	0.0001	
E/Dr.	0.00003	0.00004	

Programa en Visual Basic para encontrar el valor de f y el valor de la pérdida de carga longitudinal

Programa en Visual Basic ... Rafael Torre.....10-09-2011

CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERIAS FORZADAS

CARACTERISTICAS DE LA TUBERIA FORZADA

Caudal (m3/seg) **25.55**

Longitud (m) **30** Diametro Int. (m) **3**

Espesor Caliche (m) **0.025** Rugosidad (m) **0.004**

RESULTADOS

Area (m2) **6,951**

Velocidad (m/s) **3,676** Numero de Reynolds **10936100**

Tipo de flujo **Flujo Turbulento**

Formula de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} + \frac{e/D}{3.71} \right]$$

x = y

Usando calculos iterativos

Valor de f Inicial **0.02**

Coefficiente de fricción (f) **0,02113**


Hallando la pérdida de carga por fricción no incluye las pérdidas por accesorios

Pérdida de carga (m) **0,14675**

Prueba

x = **7,0711**

y = **6,8777**



(el diagrama de flujo y el código del programa están en los anexos 6 y 7)

Usando el programa completamos el cuadro

TRAMO	-- P8	P8---P9	Total
Factor de fricción	0.00999	0.01010	
Perdidas primarias (m)	0.06652	0.59403	0.66054

- Pérdidas por accesorios

Accesorio	Codo
Longitud	7.66
Diámetros	(3 – 2.5)
Angulo °	3.74
Const. Perdidas K	0.00798
Perdidas sec. (m.)	0.0070

Accesorio	Válvula
Angulo °	5
Const. Perd. k	0.05
Perdidas sec. (m)	0.0692

Los valores de las constantes K lo obtenemos de los anexos 6 y 7

La pérdida de carga en la Galería Forzada Blindada = **0.737 m**

Igualmente usando el programa podemos completar las tablas de datos de :

b.- Tubería Forzada a la Intemperie (T.F.I.)

- Pérdidas por longitud

TRAMO	P9 --FP1	FP1--FP2	FP2--FP3	FP3--FP4	FP4--FP5	FP5--FP6	FP6--GBI	Total
Longitud (m)	8.507	50.981	107.636	76.712	103.732	108.634	96.777	552.979
Diám. Dt (m)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
Pendiente %		57.0	96.8	62.2	61.9	69.8	44.6	
Area A (m ²)	4.909	4.909	4.909	4.909	4.909	4.909	4.909	
Rugosidad e (m)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
E/Dt	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	
Factor de fricción	0.01031	0.01031	0.01031	0.01031	0.01031	0.01031	0.01031	
Perdidas primarias (m)	0.0484	0.2903	0.6129	0.4368	0.5907	0.6186	0.5511	3.1487

- Pérdidas por accesorios

Codo	FP1--FP2	FP2--FP3	FP3--FP4	FP4--FP5	FP5--FP6	FP6--GBI	Total
Angulo °	29.70	14.40	12.19	0.11	3.14	10.84	
Const. Perdidas K	0.1120	0.0400	0.0350	0.0050	0.0100	0.0300	
Perdidas secundarias	0.1547	0.0552	0.0483	0.0069	0.0138	0.0442	0.3231

La pérdida de carga en la Tubería Forzada a la Intemperie es = **3.472 m.**

c.- Tubería Inclinada Blindada_ (T. I. B.)

- Pérdidas por longitud

TRAMO	-- P10	P10---P11	P11---C.M.	Total
Longitud	9.8847	1399.534	20	1425.42
Diám. Promedio Dt (m)	2.5	2.35	2.15	
Pendiente %	80%	80%	1%	
Área A (m)	4.909	4.337	3.631	
Velocidad	5.093	5.764	6.886	
Rugosidad de la tubería (m)	0.0001	0.0001	0.0001	
E/Dr.	0.00004	0.00004	0.00004	
Factor de fricción	0.01031	0.01042	0.01059	
Perdidas primarias (m)	0.05628	10.94541	0.24859	11.19400

- Pérdidas por accesorios

Accesorio conos	P10 --- P11			P11 ---CM.	TOTAL
Longitud (m)	8	8	8	8	
Diámetros (m)	(2.5--2.4)	(2.4 – 2.3)	(2.3 - 2.2)	(2.2 - 2.1)	
Angulo °	0.7162	0.7162	0.7162	0.7162	
Const. Perd. k	0.00039	0.00041	0.00043	0.00044	
Perdidas sec. (m)	0.00056	0.00069	0.0008598	0.0010768	

Accesorio	Codo
Angulo °	42.53
Const. Perd. k	0.06359
Perdidas sec. (m)	0.11246

La pérdida de carga en la Tubería Inclinada Blindada es = **11.3097 m.**

Como la prueba fue evaluada desde V6 hasta grupo1, se encontró la pérdida de carga desde A1 –G1a es de 4.558 m.

Las pérdidas de carga total :

Como tubería nueva desde V6-G1a Huinco es =1 9.339 m.

Lo que representa el 1.50 % de la caída bruta

NOTA : Las pérdidas de carga como tubería limpia en C. Huinco es = **21.68 m.**

Considerando una rugosidad de 0.0002 m. la cual se encuentra en la Anexo 2

Lo que representa el 1.67 % de la caída bruta

A continuación se presenta las pérdidas de carga en los diferentes tramos de las Tuberías Forzadas.

Tramo	Pérdidas de carga Nueva (m.)	Pérdidas de carga Limpia (m.)
G. F. B.	0.737	0.823
T.F.I.	3.472	3.981
G.I. B.	11.3097	12.80
T.D.	4.558	4.99
TOTAL	20.60	22.504

Las perdidas en la tubería de distribución son dadas por los informes dados por los técnicos.

Estas pérdidas totales generales cuando la tubería esta nueva = 20.06 m. y limpia = 22.504 m.

4.1.3 ESTADO ACTUAL DE LAS TUBERÍAS FORZADAS

INSPECCIÓN.-

El estado de la tubería es el siguiente:

En la actualidad el interior de las tuberías está cubierta por una capa de caliche de 2.5 mm. de espesor promedio ya que la acumulación de caliche no es igual en toda la tubería, ya que se podría decir la mayor presencia de caliche está en la tubería que tiene menor inclinación y menor velocidad de circulación del agua lo cual tiende a la acumulación de minerales que están presentes en el agua en este caso los carbonatos como son el calcio, manganeso en mayores proporciones que otros minerales, el cual es necesario desalojar debido a que ocasiona disminución de la eficiencia de los grupos.

La formación de caliche en la parte interior de las tuberías origina una pérdida de carga que afecta directamente la potencia de los grupos hidráulicos y por otro lado, al no efectuarse el mantenimiento de las tuberías forzada, originando un deterioro acelerado por la corrosión.

Nota : La inspección y la toma de muestra se realizo en el acceso de paso de hombre en la cámara de válvula – V6 (grafico – pág. 127)

MUESTRAS DE CALICHE

Procedencia	:	Tubería a la intemperie
Grosor promedio	:	2.5 mm.
Apariencia	:	Laminas delgadas

La muestra presenta 2 zonas bien diferenciadas que se han podido señalar.

Zona 1 : Es la zona que presenta aproximadamente 2.0 a 2.5 mm. de espesor Es de color ocre de la que se deduce la presencia de óxidos de calcio . Esta zona es la adyacente a la tubería.

Zona 2 : Es esta zona se encuentran las partículas más finas de color gris y es la que se encuentra en contacto con el agua que fluye por la tubería ; motivo por la cual presenta forma ondeadas en la superficie

TRATAMIENTO DE ANÁLISIS DE LA MUESTRA

Se realizó dos tratamientos:

1. Se llevó a un proceso de secado a una temperatura de 200°C, con la finalidad de eliminar la humedad de la muestra.

Se hizo un tratamiento químico de la muestra, obteniendo la presencia de los siguientes elementos en porcentajes como elementos totales:

26% de calcio, 5.8% de manganeso, 1% de hierro, siendo estos los más altos, de donde se puede afirmar que es una costra calcárea

2. Sobre la base de los resultados obtenidos en el tratamiento anterior, fue necesario evaluar y modificar el análisis.

Las muestras se llevaron a una temperatura de 1000°C, por espacio de 1h el cual eliminaría el agua existente en la muestra, dando como resultado la presencia de óxidos.

De los resultados se puede concluir el poder corrosivo de las aguas, por lo que se recomienda hacer un muestreo periódico de las muestras.

Esta información del análisis de la muestra fue tomada del informe presentado en 2003 por la empresa EDEGEL sobre Análisis de muestras en la Central Huinco

4.1.4 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LA TUBERÍA FORZADA (CON CALICHE)

Para evaluar el retorno de inversión del trabajo de limpieza y pintado se tiene que medir la eficiencia de las turbinas y determinar el nivel de recuperación de eficiencia de las tuberías forzadas.

Mediante un trabajo coordinado entre la oficina técnica y el equipo mecánico civil ha efectuado las mediciones de caudal, potencia y presión manométrica previa a los trabajos efectuados.

TRABAJOS PRELIMINARES

Para la medición de presión se seleccionaron secciones de medida en los tubos del introductor superior e inferior, donde se realizó la perforación y roscado de agujeros.

Se utilizaron válvulas de bola y mangueras de alta presión, para la instalación de tomas de presión dispuestas de acuerdo a lo señalado en la Norma IEC 41, y se levanto la curva de calibración para los transmisores de presión utilizados, todo estos instrumentos fueron instalados en la casa de maquinas, en el grupo 4.

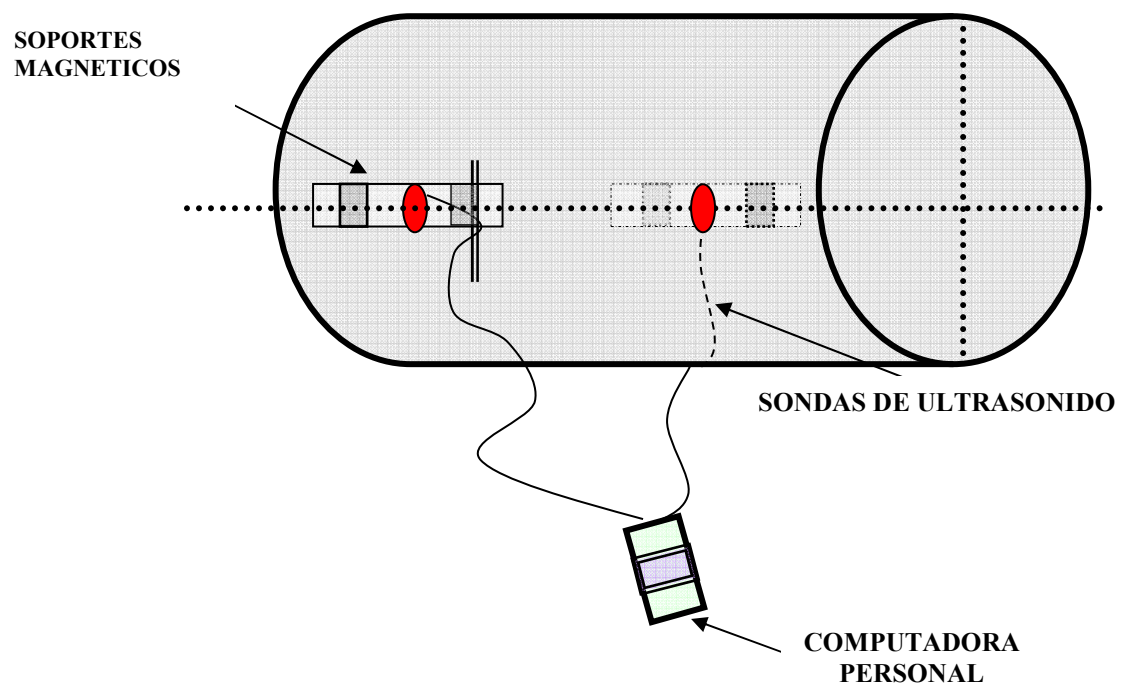
Para la medición del caudal, se utilizo el equipo ultrasonido Panametrics instalado en una zona previamente descalichado de la tubería, en la ventana nº6 antes de la válvula mariposa. Con estos valores se levanto la curva de Caudal vs. Potencia.

EQUIPOS E INSTRUMENTOS

Medidor Multifunción QUANTUM	Precisión 0.2 % Para medir potencia activa en el grupo
Medidor Ultrasónico PANAMETRICS	Precisión ± 2 % de la lectura Para medir caudal total en la Tubería Forzada en simple transversa
Instrumentos PAROSCIENTIFIC	Para medir presión con 0.01%. de precisión.
Manómetro Analógico Calibrado	Con manómetro de pesas de 0.25% de precisión
Equipo RITTMAYER	Medición de la Cota del espejo de agua en la Represa Sheque y leído en la sala de mando

**ESQUEMA DE INSTALACION
DEL CAUDALIMETRO DE ULTRASONIDO
EN LA TUBERIA FORZADA
CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO**

**TUBERIA FORZADA A LA
INTEMPERIE**



MALETA DE TRANSPORTE DEL CAUDALÍMETRO



INSTALACIÓN DEL CAUDALÍMETRO LA EN LA TUBERÍA FORZADA



PRUEBA DE MEDICIÓN EN LA TUBERÍA



EL CAUDALÍMETRO DE ULTRASONIDO

El caudalímetro de ultrasonido tiene un sensor de medición que trabaja sin contacto con el flujo. La medición de caudal le permite la detección precisa del flujo sin tener que contar con piezas en movimiento.

El transductor ultrasónico está situado en la parte exterior de la tubería, y no tiene ningún contacto con el medio. El principio de medición del caudalímetro por ultrasonido está basado en el tiempo de tránsito ultrasónico. Ambos transductores se usan como transmisor y receptor, enviando una señal ultrasónica en el sentido de la corriente y posteriormente en sentido inverso. La diferencia entre ambas velocidades ultrasónicas es proporcional a la velocidad media del flujo.

FUNCIONAMIENTO DEL CAUDALÍMETRO

Sin ningún requerimiento especial, basta colocar los sensores en las posiciones solicitadas por el ordenador del equipo, para obtener en pocos minutos la medición exacta del caudal que pasa por la tubería.

Su completo software nos permite medir velocidades y caudales indistintamente.

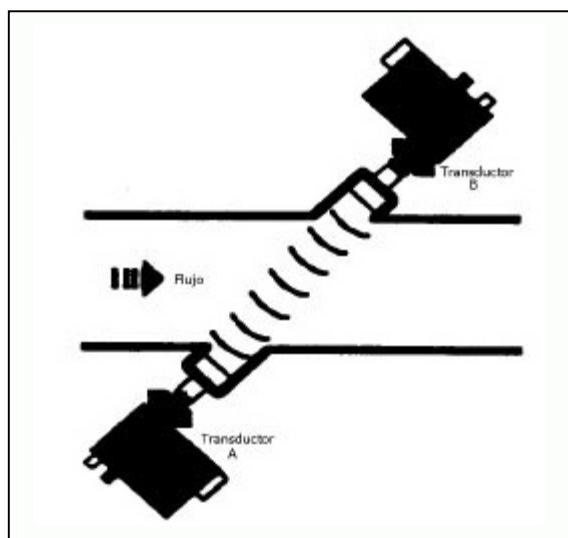
RANGO DE APLICACIÓN

- Todo tipo de fluidos de muy diferente densidad.
- Todo tipo de tuberías con independencia del material y espesor de que estén construidas.
- Aplicable en tuberías de hasta 2,5 metros en su diámetro exterior y 200 °C de temperatura.
- Su excepcional algoritmo permite medir con total precisión velocidades desde 0.01 m/seg.

OBJETIVO Y APLICACIÓN

- Mejora de nuestra capacidad de colaboración y valor añadido como empresa altamente especializada en la reparación de bombas y válvulas.
- Determinar con total precisión puntos de funcionamiento requeridos de las bombas y curvas resistentes de la instalación para un mejor diseño de las mismas, lo que invariablemente condiciona un mejor ratio de duración de los equipos y por consiguiente menor coste de mantenimiento.
- Determinar cuantitativamente el estado de impulsores, de los aros rodantes de las bombas que se encuentren en funcionamiento o con motivo de una reparación previa.
- Determinar caudales de fuga a través de válvulas, verificando cuantitativamente el estado de sus asientos y obturadores.

CAUDALIMETRO DE ULTRASONIDO



4.1.5. PROCEDIMIENTO EFECTUADOS PARA LOS CÁLCULOS DE LAS PERDIDAS DE CARGA (FORMA EXPERIMENTAL)

Dado el cronograma de trabajo de Edegel, de 12:00 pm a 8:00 am. Por ser un horario de menor consumo de energía eléctrica, se efectúan los procedimientos de trabajo de medición para los cálculos de pérdida de carga de la Central Huinco

Procedimientos:

- Se instala los instrumentos de medición.
- Se desarrolla 7 pruebas

Para una determinada prueba n° 3.

1. - Para el caudal se toma diferentes datos con el caudalímetro instalado en la tubería forzada en un determinado intervalo de tiempo .

Obtenidos los datos se toma el promedio de los datos del caudal se visualiza en el cuadro (Tabla I)

Entonces el caudal a tomar como dato es el promedio de los caudales dados Caudal = $9.87 \text{ m}^3/\text{seg}$

2. .- Se toma los datos de la presión manométrica y la presión absoluta en el G4 (grupo 4) .
3. .- Se toma el nivel de la taza – limnómetro
4. .- Se efectúa una variación de potencia, con el cual se trabaja con el funcionamiento de un grupo, dos grupos, tres grupos o todos los grupos la vez de acuerdo al criterio de las pruebas

- Tomando todos estos datos reunidos, tanto las características principales y los datos preliminares de la central se completa la tabla de datos

- 1.- Protocolo de pruebas para evaluar las pérdidas de carga
- 2.- Resultado de las pérdidas de carga

TABLA I
PRUEBA n° 3

Potencia	Variación del Caudal en un determinado tiempo Q (m ³ /seg)			
101.14 Mw	9.86	9.99	9.84	9.82
	9.83	9.95	9.83	9.73
	9.78	9.82	9.92	9.92
	9.83	9.95	9.86	9.86
Caudal promedio Q (m ³ /seg)				9.87

TABLA II
PRUEBA n° 6

Potencia	Variación del Caudal en un determinado tiempo Q (m ³ /seg)			
220.85 .Mw	22.47	22.41	22.40	22.42
	22.46	22.38	22.39	22.39
	22.45	22.41	22.41	22.40
	22.43	22.42	22.43	22.38
Caudal promedio Q (m ³ /seg)				22.41

CALCULO DE UNA PRUEBA

- Para la Prueba 3:

Datos registrados

Potencia del Grupo_1 = $Pot_{G1} = 47.49 \text{ MW}$

Potencia del Grupo_2 = $Pot_{G2} = 0.00 \text{ MW}$

Potencia del Grupo_3 = $Pot_{G3} = 0.00 \text{ MW}$

Potencia del Grupo_4 = $Pot_{G4} = 53.65 \text{ MW}$

Potencia de la Central = $Pot_{Central} = 101.14 \text{ MW}$

Caudal Total = $Q_{Total} = 9.87 \text{ m}^3/\text{s}$

Presión Absoluta Grupo 4 = $P_{abs} = 125.22 \text{ Bar}$

Corrección de la Presión Absoluta en el manómetro:

- Presiones " Real " (corregida) de acuerdo a la calibración del manómetro

$$P_{abs}' = (1.0002720601 * P_{abs} - 0.0291086802) \text{ Bar}$$

$$P_{abs}' = 125.22 \text{ Bar}$$

Cálculo de la altura Neta :

$$P_{amb} = 0.8074 \text{ Bar}$$

$$P_{abs}' - P_{amb} = (125.22 - 0.8067) \text{ Bar}$$

$$P_{abs}' - P_{amb} = 124.41 \text{ Bar}$$

- Diferencia medida de cotas del manómetro respecto a la cota del punto de tangencia del chorro

$$\text{Cota del manómetro} = Z_1 = 1875.02 \text{ m}$$

$$\text{Cota tangente del chorro} = Z_2 = 1877.42 \text{ m}$$

$$Z_1 - Z_2 = -2.40 \text{ m.}$$

$$Q_{Central} = 9.87 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_{tub_deriv} = 650 \text{ mm.}$$

$$A_{tub_deriv} = 0.33 \text{ m}^2$$

$$Q_{G(n)} = \frac{Pot_{G(n)}}{Pot_{Central}} Q_{Central}$$

$$Q_{G(4)} = \frac{53.65}{101.14} * 9.87 = 5.24 \text{ m}^3/\text{s}$$

$H_{neta} = \text{Altura neta}$

$$\frac{V_m^2}{2} = \left(\frac{1}{2} \right) \left[\left(\frac{1}{2} \right) \frac{Q_{G4}}{A_{tub_deriv}} \right]^2$$

$$\frac{V_m^2}{2} = \left(\frac{1}{2} \right) \left[\left(\frac{1}{2} \right) \frac{5.24}{0.33} \right]^2 = 31.52 \text{ Kj / Kg}$$

$$\rho_{agua_prom} = 1002.6315 \text{ Kg/m}^3$$

$$g_{prom} = 9.77498 \text{ m/s}^2$$

$$H_{neta} = \left(\frac{(P_{abs'} - P_{amb}) * 10^5}{\rho_{agua_prom}} + (Z_1 - Z_2) * g_{prom} + \frac{V_m^2}{2} \right) * \left(\frac{1}{g_{prom}} \right)$$

Reemplazando valores :

$$H_{neta} = \left(\frac{124.41 * 10^5}{1002.6315} + (-2.40) * 9.77498 + 31.47 \right) * \left(\frac{1}{9.77498} \right)$$

$$H_{neta} = 1270.21 \text{ m}$$

Pérdidas totales :

Nivel Taza - Limnómetro = 3167.30 m.

Cota tangente de chorro = 1877.42 m.

$$H_{Bruta} = \text{Nivel Taza-Limnómetro} - \text{Cota Tg_Chorro}$$

$$H_{Bruta} = (3167.30 - 1877.42) \text{ m.}$$

$$H_{Bruta} = 1289.88 \text{ m.}$$

$$h_{Perd_Total} = (H_{Bruta} - H_{neta})$$

$$h_{Perd_Total} = (1289.88 - 1270.21) \text{ m.}$$

$$h_{Perd_Total} = 19.67 \text{ m.}$$

Pérdidas en la galería

P_{m_tub-V6} = Presión manométrica en la Ventana 6 (Cámara de válvulas)

P_{m_tub-V6} = 8.90 Bar.

Cota del manómetro V6 = $Z_{(m-V6)}$ = 3067.73 m

Cota de la válvula mariposa = Z_{tub} = 3069.13 m

$$Z_{(m_V6)} - Z_{tub} = -1.40 \text{ m.}$$

$$Q_{Central} = 9.87 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_{tub} = 2500 \text{ mm.}$$

$$A_{tub} = 4.91 \text{ m}^2$$

$$\frac{V_m^2}{2} = \left(\frac{1}{2} \right) \left[\frac{Q_{Central}}{A_{tub}} \right]^2$$

$$\frac{V_m^2}{2} = \left(\frac{1}{2} \right) \left[\frac{9.87}{4.91} \right]^2 = 2.02 \text{ KJ / Kg}$$

H_{neta_V6} = Altura neta_ventana 6

$$\rho_{agua_V6} = 999.6228 \text{ Kg/m}^3$$

$$g_{prom} = 9.7730 \text{ m/s}^2$$

$$H_{neta_V6} = \left(\frac{(P_{m_tub_V6}) * 10^5}{\rho_{agua_V6}} + (Z_{(m-V6)} - Z_{tub}) * g_{prom} + \frac{V_m^2}{2} \right) * \left(\frac{1}{g_{prom}} \right)$$

$$H_{neta_V6} = \left(\frac{8.90 * 10^5}{999.6228} + (-1.40) * 9.7730 + 2.02 \right) * \left(\frac{1}{9.7730} \right)$$

$$H_{neta_V6} = 89.91 \text{ m.}$$

- Diferencia media de cotas del embalse Sheque y manómetro instalado en la ventana 6

Nivel Taza - Limnómetro = $Z_{\text{sheque}} = 3167.30 \text{ m.}$

Cota de la válvula mariposa = $Z_{V6} = 3069.13 \text{ m}$

$$Z_{\text{sheque}} - Z_{V6} = 98.17 \text{ m.}$$

Cálculo de las pérdidas en la galería:

$$h_{\text{galería}} = ((Z_{\text{sheque}} - Z_{V6}) - H_{\text{neta_V6}})$$

$$h_{\text{galería}} = (98.17 - 89.91) \text{ m.}$$

$$h_{\text{galería}} = 8.26 \text{ m.}$$

Cálculo de las pérdidas en la tubería :

$$h_{\text{tubería}} = (h_{\text{Perd_Total}} - h_{\text{galería}})$$

$$h_{\text{tubería}} = (19.67 - 8.26) \text{ m.}$$

$$h_{\text{tubería}} = 11.4 \text{ m.}$$

Rendimientos :

$$\eta_{\text{galería}} = 1 - \frac{h_{\text{galería}}}{H_{\text{Bruta}}} = 1 - \frac{8.26}{1289.88} = 0.9936$$

$$\eta_{\text{galería}} = 99.36 \%$$

$$\eta_{tuberia} = 1 - \frac{h_{tuberia}}{H_{Bruta}} = 1 - \frac{11.4}{1289.88} = 0.9912$$

$\eta_{tuberia} = 99.12 \%$

$$\eta_{Total} = \eta_{galeria} * \eta_{tuberia} = (99.36 * 99.12) \%$$

$\eta_{Total} = 98.5 \%$

4.1.6. Tablas y Gráficos obtenidos de la prueba de pérdida de carga

Se obtuvo las siguientes tablas y gráficos:


1. Calibración del Manómetro (Cuadro 4.1)
2. Calibración del Manómetro Analógico V-6 (Cuadro 4.2)
3. Protocolo de pruebas para evaluar pérdidas de carga en la tubería forzada .
(Tabla de Datos 4.1)
4. Resultados de la prueba de pérdidas de carga en la tubería forzada
(Tabla de Resultados 4.2)
5. Altura Neta vs. Caudal (Gráfico 4.1)
6. Pérdidas de carga (Tubería + Galería) vs. Caudal (Gráfico 4.2)
7. Pérdidas de carga en la Galería vs. Caudal (Gráfico 4.3)
8. Pérdidas de carga Tubería Forzada vs. Caudal (Gráfico 4.4)
9. Nivel Embalse Sheque (Cuadro 4.3)
10. Comparación de Pérdidas de Carga (Gráfico 4.5)
(Sin caliche y con caliche).

Cuadro 4.1

CENTRAL: HUINCO		Fecha 05/09/2009	
Calibración del Manómetro			
<u>CALIBRACION CON COLUMNA DE AGUA</u> IEC 41, 2009, Chap. 11.4.7.1			Δp_m
<u>Datos de la Central</u>			
Latitud	ϕ	12,00	deg
Nivel de agua en cámara de carga	z_{HW}	3164,85	m
Cota del Manómetro	z_m	1875,020	m
Altura estática	$z_{HW} - z_m$	1289,830	m
Temperatura del agua	T_w	11,00	° C
Aceleración de la gravedad en la cámara de carga	g_{HW}	9,77305	m/s ²
Aceleración de la gravedad en el manómetro	g_m	9,77692	m/s ²
Aceleración de la gravedad promedio	g_{mean}	9,77498	m/s ²
Presión atmosférica en la cámara de carga	$p_{amb, HW}$	0,6866	bar
Presión atmosférica en el manómetro	$p_{amb, m}$	0,8074	bar
Densidad del agua en la cámara de carga	ρ_{HW}	999,62283	kg/m ³
Densidad del agua en el manómetro	ρ_m	1005,64020	kg/m ³
Densidad del agua promedio	ρ_{mean}	1002,63151	kg/m ³
<u>Presión absoluta geodésica</u>			
$p_{abs, g} = p_{amb, HW} + \rho_{mean} \cdot g_{mean} \cdot (z_{HW} - z_m) \cdot 10^{-5}$		$p_{abs, g}$	127,0990 bar
<u>Presión absoluta en el manómetro</u>			
<u>a) Transductor de presión absoluta Digiquartz</u>			
Presión atmosférica en el manómetro	$p_{amb, m}$	0,8363	bar
Presión absoluta manómetro	$p_{abs, g}$	127,0935	bar
<u>b) Correlación</u>			
$P_{abs, real} = 1,000272060188 \cdot P_{lect} - 0,029108680204$			
	$p_{abs, g}$	127,0990	bar

Cuadro 4.2

CENTRAL: HUINCO		Fecha 05/09/2009	
Calibración del Manómetro Analógico V-6°			
CALIBRACION CON COLUMNA DE AGUA		<div>Δp_m</div>	
IEC 41, 2009, Chap. 11.4.7.1			
Datos de la Central			
Latitud	φ	12,00	deg
Cota Sheque	z _{HW}	3166,00	m
Cota del Manómetro en V6	z _m	3067,73	m
Altura estática	z _{HW} - z _m	98,270	m
Temperatura del agua	T _w	11,00	° C
Aceleración de la gravedad en v-6	g _{HW}	9,7730	m/s ²
Aceleración de la gravedad en el manómetro	g _m	9,7733	m/s ²
Aceleración de la gravedad promedio	g _{mean}	9,7732	m/s ²
Presión atmosférica en v-6	p _{amb, HW}	0,6865	bar
Presión atmosférica en el manómetro	p _{amb, m}	0,6951	bar
Densidad del agua en v-6	ρ _{HW}	999,62282	kg/m ³
Densidad del agua en el manómetro	ρ _m	1000,07973	kg/m ³
Densidad del agua promedio	ρ _{mean}	999,85128	kg/m ³
Presión absoluta geodésica			
$p_{abs,g} = p_{amb, HW} + \rho_{mean} * g_{mean} * (z_{HW} - z_m) * 10^{-5}$	p _{abs, g}	10,2891	bar
Presión absoluta en el manómetro			
a) Transductor de presión absoluta Digiquartz			
Presión atmosférica en el manómetro	p _{amb, m}	0,8363	bar
Presión absoluta manómetro	p _{abs, g}	127,0935	bar
b) Correlación			
$P_{abs, real} = 1,000272060188 * P_{lect} - 0,029108680204$			
	p _{abs, g}	127,0990	bar



DPTO. MECANICO Y CIVIL

EQUIPOS HIDROMECAHICOS

PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA EVALUAR PERDIDA DE CARGA TUBERIA FORZADA CENTRAL HUINCO

PARAMETRO	Unid.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HORA		9:00	10:30	10:50	11:10	11:30	11:55	12:30				
POTENCIA GRUPO 1 (1)	MW	0,00	0,00	47,49	46,85	46,32	50,92	59,91				
POTENCIA GRUPO 2	MW	0,00	0,00	0,00	0,00	36,38	58,00	62,50				
POTENCIA GRUPO 3	MW	0,00	0,00	0,00	48,34	46,65	59,37	61,07				
POTENCIA GRUPO 4	MW	0,00	50,77	53,65	50,11	50,15	52,36	60,85				
POTENCIA CENTRAL	MW	0,00	50,77	101,14	145,30	179,50	220,65	244,33				
CAUDAL TUBERIA (2)	m3/s	0,00	4,60	9,87	14,69	17,72	22,41	25,55				
PRESION MANOMETRO V-6 (3)	Bar	9,60	9,50	8,90	7,90	7,10	5,50	4,50				
PRESION ABSOLUTA G-4 (4)	Bar	127,33	126,55	125,22	123,85	122,65	120,30	118,47				
NIVEL TAZA - LIMNIMETRO (5)	m	3166,00	3167,27	3167,30	3167,27	3167,10	3166,70	3166,30				

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES :

DATOS PRELIMINARES:

Altura Bruta :	1292,6	m	Cota Eje de Turbina	1.878,85	m.s.n.m.	Cota Válvula Mariposa	3069,13	m.s.n.m.
Altura Neta Nominal :	1245	m	Cota Instrum. de presión (6)	1.875,02	m.s.n.m.	Presión atmosférica Manómetro	0,84	Bar
Potencia Nominal Turbina:	68,6	MW	Cota Piso pasillo de Reguladores	1.875,00	m.s.n.m.	Diámetro Int. Tuber. Derivación	650	mm
Caudal Nominal Turbina :	6,25	m³/s	Cota de Rebose en Presa Sheque	3.170,00	m.s.n.m.	Area Int. Tuber. Forzada Derivación	0,33	m²
Potencial Alternador :	85	MVA	Cota tangencia chorro	1.877,42	m.s.n.m.	Diámetro Int. Tuber. V-6	2500	mm
Factor de Potencia Nominal :	0,76	Cos φ	Cota de piso Sala Máquinas	1.878,35	m.s.n.m.	Area Int. Tuber. Forzada	4,91	m²
Velocidad :	514	rpm	Cota manómetro V-6	3.067,73	m.s.n.m.			

(1) Los valores de Potencia fueron tomados del medidor multifunción Quantum con 0,2 % de precisión.

(2) Caudal medido en Introdutor, con equipo de ultrasonido Parametris con 2% de precisión, en "simple traveso".

(3) Presión medida con manómetro analógico calibrado con manómetro de pesas de 0,23% de precisión.

(4) Presión medida con Instrumentos Paroscientific de 0,01% de precisión.

(5) Cota del espejo de agua en la Represa Sheque medido con equipo Rittmeyer y leído en la sala de mando de la central.

(6) Instrumento de presión ubicado a 2 cm. sobre el piso del pasillo de reguladores.

FECHA:

05-sep-09

FIRMAS:

Tabla de Datos 4.1



DPTO. MECÁNICO Y CIVIL
EQUIPOS HIDROMECÁNICOS

RESULTADOS PERDIDA DE CARGA TUBERIA FORZADA HUINCO

Parámetro	Unid.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Datos registrados											
$P_{central}$	MW	0,00	50,77	101,14	145,30	179,50	220,66	244,33			
Q_{total}	m ³ /s	0,00	4,60	9,87	14,69	17,72	22,41	25,55			
P_{abs}	Bar	127,33	126,56	125,22	123,86	122,65	120,30	118,47			
Corrección de la presión											
$P_{abs}^{(1)}$	Bar	127,33	126,56	125,22	123,86	122,65	120,30	118,47			
Cálculo de la altura Neta											
$P_{abs} - P_{amb}$	Bar	126,53	125,75	124,41	123,05	121,85	119,50	117,66			
$(z_1 - z_2)^{(2)}$	m	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40			
$v_m^2/2$	kJ/kg	0,00	24,31	31,47	12,83	28,14	32,45	46,46			
H_{neta}	m	1288,58	1283,14	1270,26	1254,41	1243,72	1220,18	1202,89			
Pérdidas Totales											
H_{bota}	m	1288,58	1289,85	1289,88	1289,85	1289,68	1289,28	1288,88			
h_{total}	m	0,00	6,71	19,62	35,44	45,96	69,10	85,99			
Pérdidas en la galería											
$P_{m\ tub\ v\phi}$	Bar	9,60	9,50	8,90	7,90	7,10	5,50	4,50			
$(z_{m\ v\phi} - z_{tub})^{(3)}$	m	-1,40	-1,40	-1,40	-1,40	-1,40	-1,40	-1,40			
$v_m^2/2$	J/kg	0,00	0,44	2,02	4,48	6,52	10,42	13,54			
$H_{neta-v\phi}$	m	96,87	95,89	89,91	79,92	71,94	55,96	46,05			
$(z_{sheque} - z_{v\phi})^{(3)}$	m	96,87	98,14	98,17	98,14	97,97	97,57	97,17			
$h_{galería}$	m	0,00	2,25	8,26	18,22	26,03	41,61	51,12			
Pérdidas en la tubería											
$h_{tubería}$	m	0,0	4,5	11,4	17,2	19,9	27,5	34,9			
Rendimientos											
$\eta_{galería}$	%	100,0%	99,8%	99,4%	98,6%	98,0%	96,8%	96,0%			
$\eta_{tubería}$	%	100,0%	99,7%	99,1%	98,7%	98,5%	97,9%	97,3%			
η_{total}	%	100,0%	99,5%	98,5%	97,3%	96,5%	94,7%	93,4%			

(1) Presión "Real" (Corregida) de acuerdo a la calibración del manómetro l: PI = 1,000272060188*Plect - 0,028106680204

(2) Diferencia media de cotas del manómetro respecto a la cota del punto de tangencia

(3) Diferencia media de cotas del nivel el embalse Sheque y manómetro instalado en Ventana 6

Tabla de Resultados 4.2

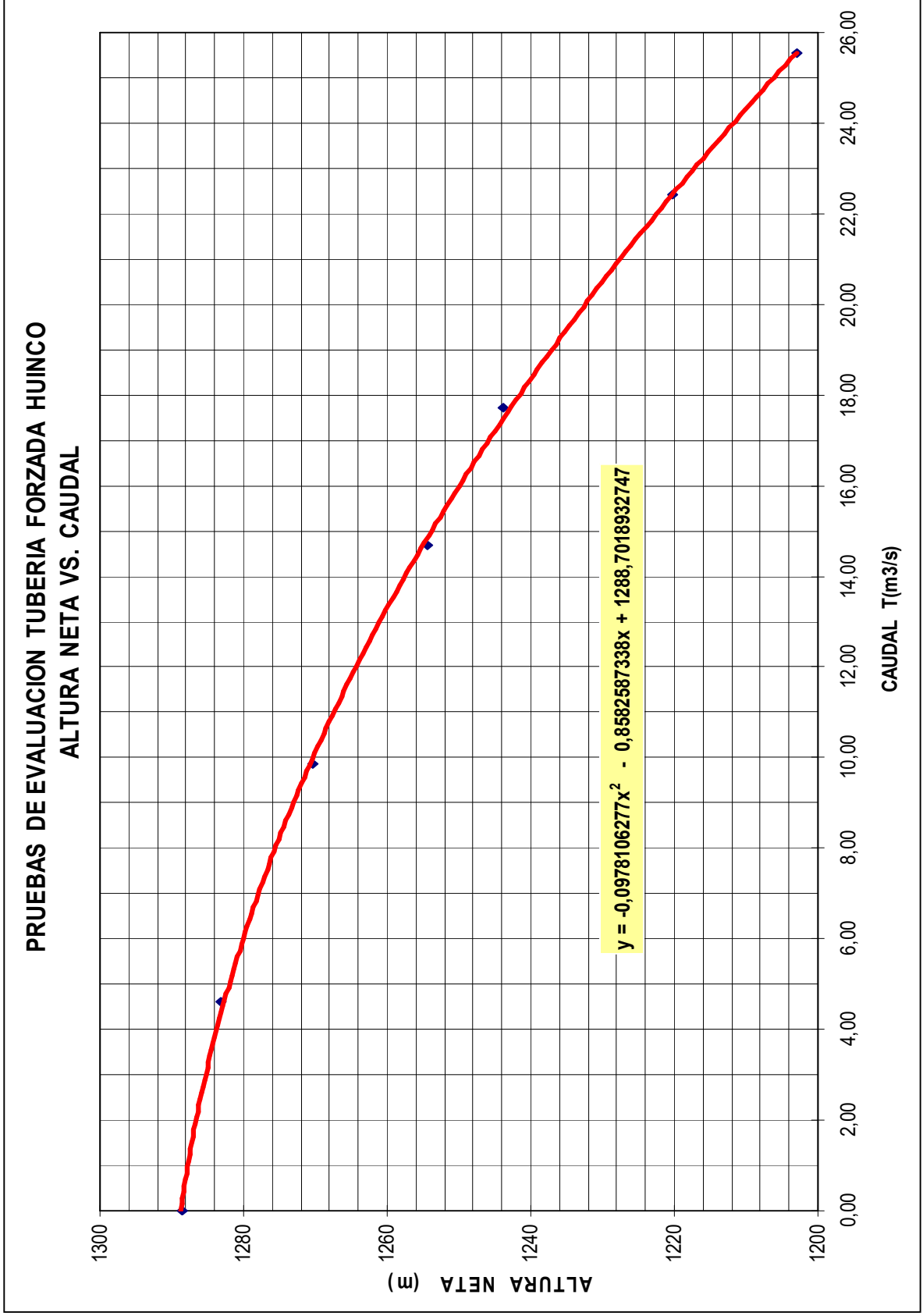


Grafico 4.1

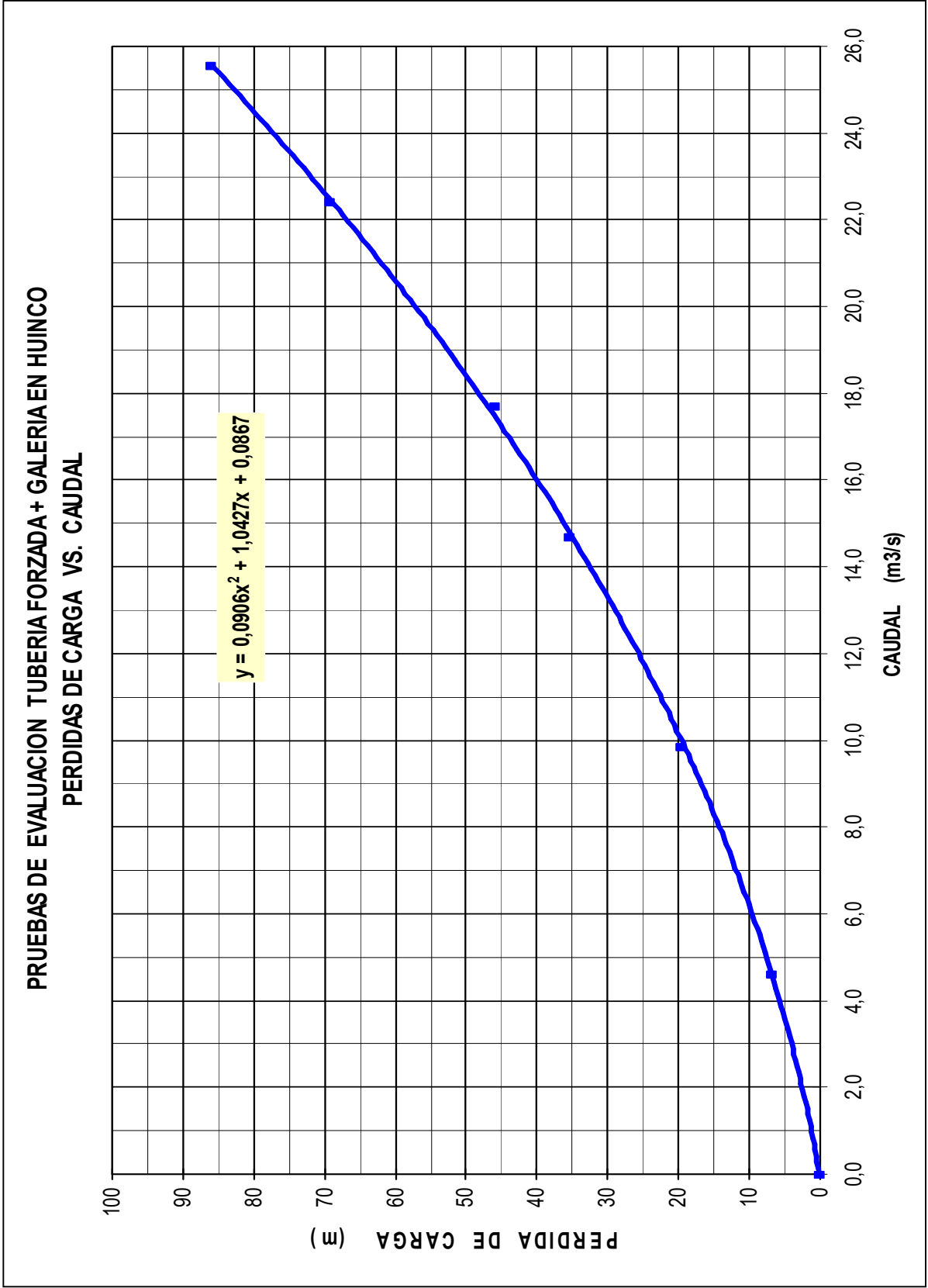


Gráfico 4.2

PRUEBAS DE EVALUACION TUBERIA FORZADA HUINCO
 PERDIDAS DE CARGA GALERIA VS. CAUDAL

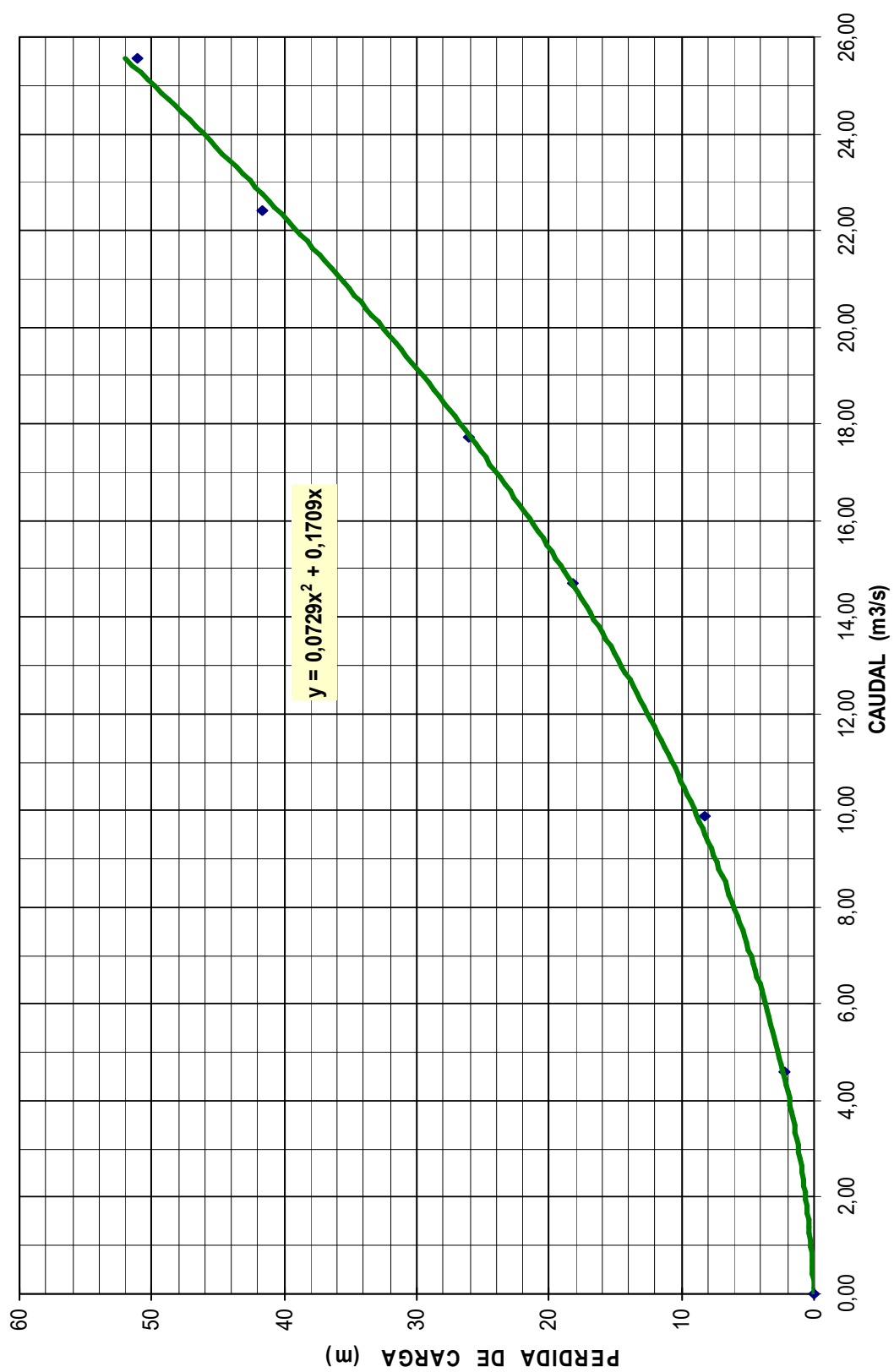


Gráfico 4.3

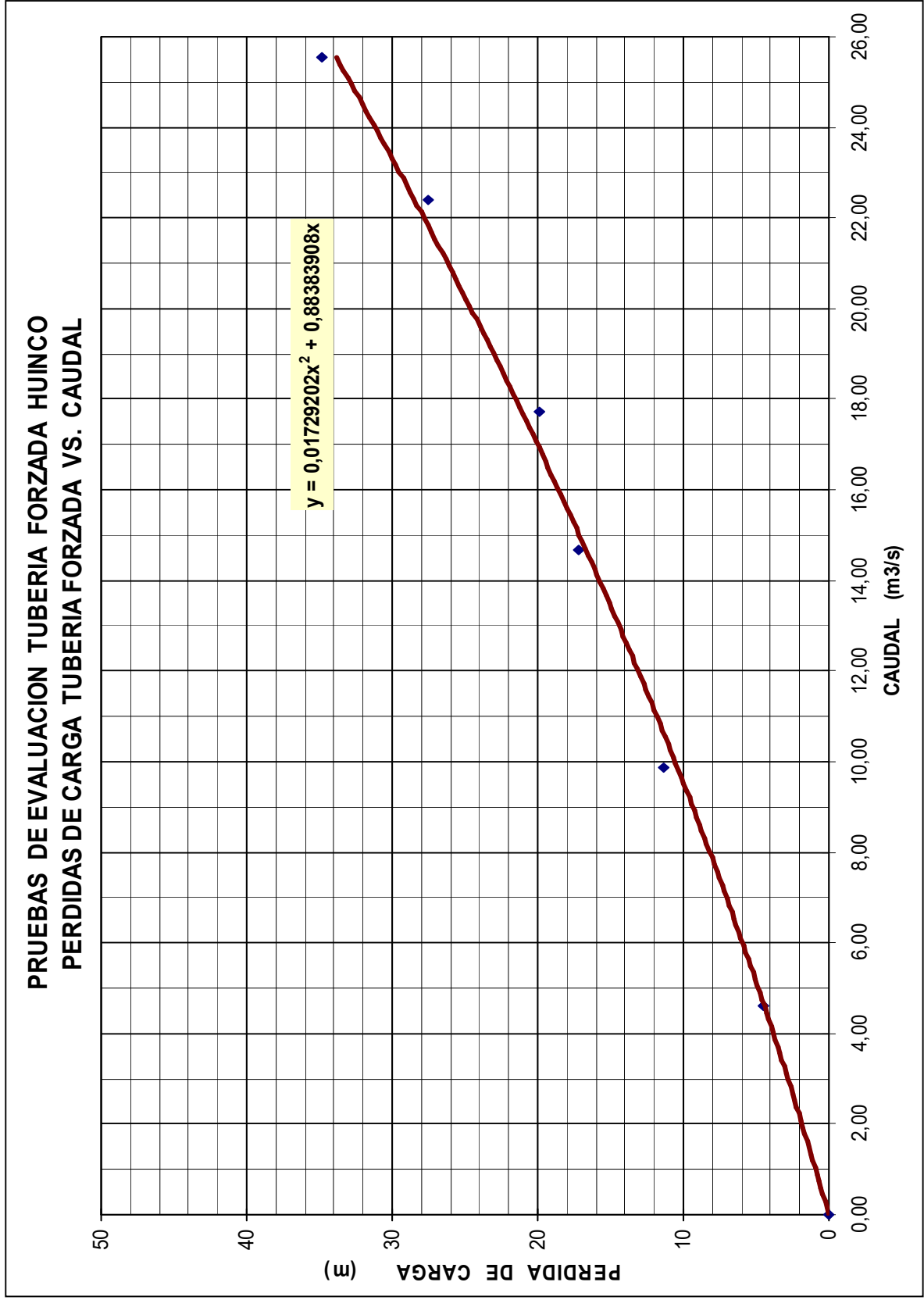
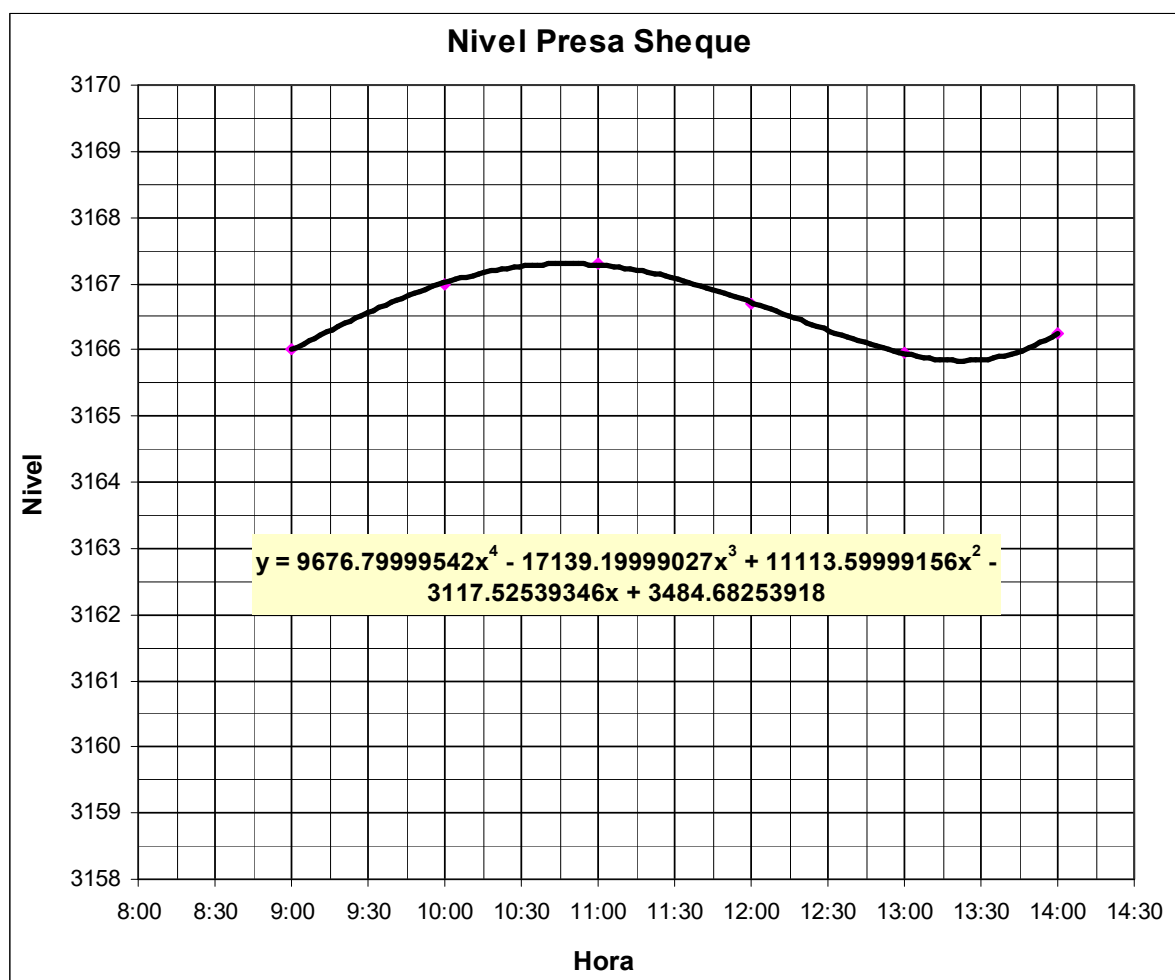


Gráfico 4.4

Nivel del Embalse Sheque

HORA	COTA DEL NIVEL m.s.n.m.	VOLUMEN (m3)
9:00	3166,00	259000
10:00	3167,00	294000
11:00	3167,30	306000
12:00	3166,70	283000
13:00	3165,95	257000
14:00	3166,25	265000

Cuadro 4.3



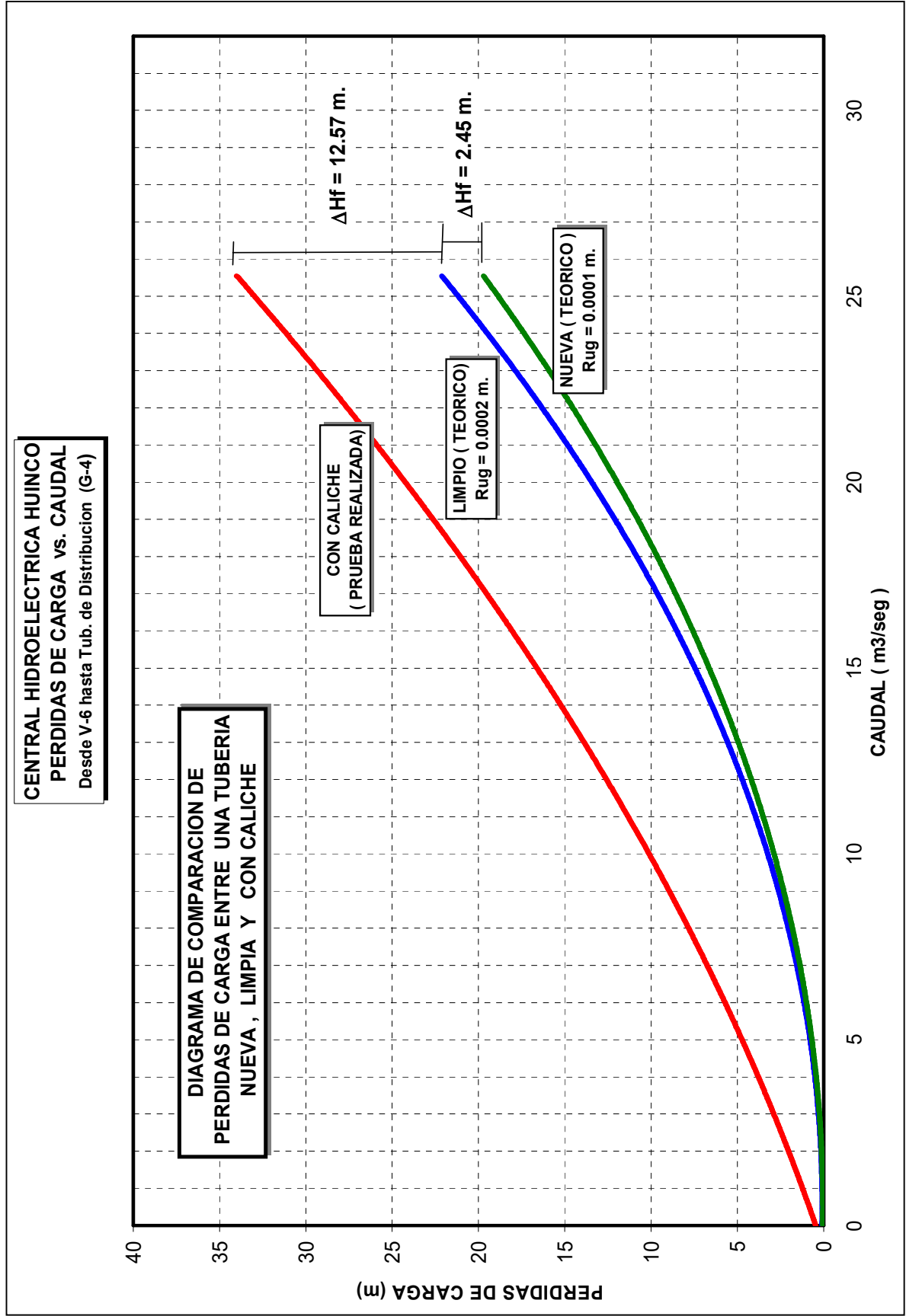


Gráfico 4.5

4.1.7 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA USANDO FÓRMULAS (MÉTODO TEÓRICO)

CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

Las fórmulas que se usan son :

1.- Fórmula de Darcy – Weisbach,

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

2.- Velocidad $V = \frac{Q}{A}$

3.- Número de Reynolds

$$Re = \frac{V D}{\nu}$$

Conociendo el número de Reynolds podemos decir a que régimen pertenece

4.- Coeficiente de fricción – (Colebrook y White)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{2.52}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Para encontrar el valor de f se resuelve por iteraciones.

5.- Para las pérdidas por accesorios (K_i constante de accesorio)

$$h_t = K_i \frac{V_i^2}{2g}$$

Tomamos en cuenta las pérdidas de cada accesorio que tiene la tubería forzada de acuerdo a los valores dados en el capítulo I y en los anexos

6.- Para pérdidas totales son:

$$h_T = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum_1^i K_i \frac{V_i^2}{2g}$$

Encontrando los valores de la fricción en determinadas secciones de la tubería forzada podemos encontrar la pérdida de carga total en la central Hidroeléctrica Huinco

Estas fórmulas se usan con los siguientes datos

Caudal = 25.55 m³/seg.

TRAMO 1 : Galería Forzada Blindada (G.F.B.)

TRAMO	-- P8	P8---P9	Total
Longitud	30	191	221
Diám. Promedio Dt (m)	3	2.81	
Espesor de caliche	0.025	0.025	
Diámetro interior	2.975	2.785	
Pendiente %	4.1%	4.1%	
Área A (m)	6.95	6.09	
Velocidad	3.68	4.20	
Rugosidad de la tubería (m)	0.004	0.0042	
E/Dr.	0.0013	0.0014	

Reynolds

Numero de Reynolds	1.05*10 ⁷	1.12*10 ⁷
--------------------	----------------------	----------------------

Usando:

La fórmula de Coeficiente de fricción – (Colebrook y White)

Factor de fricción	0.0212	0.022
--------------------	--------	-------

-La fórmula de Darcy – Weisbach,

			TOTAL
Perdidas primarias (m)	0.148	1.356	1.504

- Pérdidas por accesorios

Accesorio	Codo
Longitud	7.66
Diámetros	(3 – 2.5)
Angulo °	3.74
Const. Perdidas K	0.00798
Perdidas sec. (m.)	0.0070

Accesorio	Válvula
Angulo °	5
Const. Perd. k	0.05
Perdidas sec. (m)	0.0692

La pérdida de carga en la Galería Forzada Blindada es = **1.5802 m.**

TRAMO 2 : Tubería Forzada a la Intemperie (T.F.I.)

- Pérdidas por longitud

TRAMO	P9 --FP1	FP1--FP2	FP2--FP3	FP3--FP4	FP4--FP5	FP5--FP6	FP6--GBI	Total
Longitud (m)	8.507	50.981	107.636	76.712	103.732	108.634	96.777	552.979
Diám. Dt (m)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
Espesor de caliche	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	
Diámetro interior	2.475	2.475	2.475	2.475	2.475	2.475	2.475	
Pendiente %	0	57.0	96.8	62.2	61.9	69.8	44.6	
Area A (m ²)	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	
Rugosidad e (m)	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	
E/Dt	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	

- La fórmula de Coeficiente de fricción – (Colebrook y White)

Factor de fricción	0.0222	0.0222	0.0222	0.0222	0.0222	0.0222	0.0222
--------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

-La fórmula de Darcy – Weisbach,

								TOTAL
Pérdidas primarias (m)	0.110	0.658	1.389	0.990	1.339	1.402	1.205	7.093

- Pérdidas por accesorios

Codo	FP1--FP2	FP2--FP3	FP3--FP4	FP4--FP5	FP5--FP6	FP6--GBI	Total
Angulo °	29.70	14.40	12.19	0.11	3.14	10.84	
Const. Perdidas K	0.1120	0.0400	0.0350	0.0050	0.0100	0.0300	
Pérdidas secundarias	0.1547	0.0552	0.0483	0.0069	0.0138	0.0442	0.3231

La pérdida de carga en la Tubería Forzada a la Intemperie es = **7.4131 m.**

TRAMO 3 : Tubería Inclínada Blindada (T.I.B.)

- Pérdidas por longitud

TRAMO	-- P10	P10---P11	P11---C.M.	Total
Longitud	9.8847	1399.534	20	1425.42
Diám. Promedio Dt (m)	2.5	2.35	2.15	
Espesor de caliche	0.003	0.003	0.003	
Diámetro interior	2.497	2.347	2.147	
Pendiente %	80%	80%	1%	
Área A (m)	4.897	4.326	3.620	
Velocidad	5.218	5.906	7.047	
Rugosidad de la tubería (m)	0.004	0.004	0.004	
E/Dr.	0.0016	0.0017	0.0019	

La fórmula de Coeficiente de fricción – (Colebrook y White)

Factor de fricción	.0221	0.0225	0.023
--------------------	-------	--------	-------

La fórmula de Darcy – Weisbach

				TOTAL
Perdidas primarias (m)	1.215	23.875	0.544	25.635

• Pérdidas por accesorios

Accesorio conos	P10 --- P11			P11 ---CM.	TOTAL
Longitud (m)	8	8	8	8	
Diámetros (m)	(2.5--2.4)	(2.4 – 2.3)	(2.3 - 2.2)	(2.2 - 2.1)	
Angulo °	0.7162	0.7162	0.7162	0.7162	
Const. Perd. K	0.00039	0.00041	0.00043	0.00044	
Perdidas sec. (m)	0.00056	0.00069	0.0008598	0.0010768	0.00319

Accesorio	Codo
Angulo °	42.53
Const. Perd. k	0.06359
Perdidas sec. (m)	0.11246

La pérdida de carga en la Tubería Inclínada Blindada es = **25.75 m**

Las pérdidas de carga total :

La caída bruta es 1292.6m

Como tubería sucia se toma la rugosidad de 0.004 m , el espesor de caliche varia en diferentes secciones de la tubería, desde válvula mariposa ubicada en la ventana 6 (V6) hasta antes la tubería de distribución

La perdida de carga en la tubería forzada es = **34.74 m**

Lo que representa el **2.69 %** de la caída bruta

Pérdidas en la Tubería Forzada Central Huinco para diferentes caudales

Caudal	Nueva Rug = 0.0001	Limpia Rug = 0.0002	Prueba Realizada
0.00	0.00	0.00	0.00
4.60	0.627	0.78	4.50
9.87	2.886	3.24	11.40
14.69	6.393	7.67	15.60
17.41	9.393	10.44	20.00
22.41	14.873	16.65	27.50
25.55	19.33	21.68	34.90

CENTRAL HUINCO

PROGRAMA PARA HALLAR LAS PERDIDAS DE CARGA POR EFECTO DE LA FRICCION EN LAS TUBERIAS FORZADAS

(PROGRAMA EN VISUAL BASIC)

Programa en Visual Basic ... Rafael Torre.....10-09-2011

CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERIAS FORZADAS

CARACTERISTICAS DE LA TUBERIA FORZADA

Caudal (m3/seg)

Longitud (m) Diametro Int. (m)

Espesor Caliche (m) Rugosidad (m)

RESULTADOS

Area (m2)

Velocidad (m/s) Numero de Reynolds

Tipo de flujo

Formula de Colebrook- White $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} + \frac{e/D}{3.71} \right]$

$x = y$

Usando calculos iterativos

Valor de f Inicial

Coefficiente de fricción (f)


Hallando la perdida de carga por fricción no incluye las perdidas por accesorios

Pérdida de carga (m)

Prueba

x =

y =



Su diagrama de flujoAnexo 5a (pág. 183)

El código del programa en lenguaje Visual BasicAnexo 5b (pág. 184)

4.1.8 ALTERNATIVAS DEL MANTENIMIENTO DE LAS TUBERÍAS FORZADAS

Para determinar las alternativas sobre el mantenimiento de limpieza y pintado, se da la siguiente tabla con las pérdidas de carga en los diferentes tramos

TRAMO	Perdidas de carga Limpia (m.)	Perdidas de carga Sucia (m.)
G.F.B.	0.823	1.413
T.F.I	3.891	6.40
G.I.B	12.80	23.13
T.D.	4.99	7.35

Este cuadro representa el resumen de los valores de pérdidas de carga para los diferentes tramos realizados en forma teórica en relación a los tomados en la prueba para la respectiva comparación.

ALTERNATIVAS DE LIMPIEZA Y PINTADO

Dentro de las alternativas para la limpieza y pintado de las Tuberías Forzadas se tiene lo siguiente:

- **Alternativa I**

Limpieza de la Tubería Forzada a la Intemperie (TFI)

Como en este tramo la pérdida de carga es de 6.40 m, al efectuar la limpieza y pintado se podría recuperar 2.51 m. es decir la pérdida de carga sería 3.891 m.

Lo cual sería una mínima recuperación de potencia, para una gran inversión por lo cual esta alternativa no es conveniente.

- **Alternativa II**

Limpieza de la Galería Inclinada Blindada (GIB)

En este tramo la pérdida de carga es de 21.15 m, al efectuar la limpieza y pintado se podría recuperar 8.35 m. es decir la pérdida de carga sería 12.80 m.

Lo cual sería una mejor alternativa la limpieza y poder recuperar una gran parte de la potencia perdida por la presencia de caliche por lo cual sería una alternativa bastante aceptable.

- **Alternativa III**

Limpieza de la Tubería Forzada a la Intemperie + Galería Inclínada Blindada (TFI +GIB)

En estos tramos la pérdida de carga es de 27.55 m si se efectúa el trabajo de limpieza y pintado se podría recuperar 10.86 m. es decir la pérdida se reduciría a 16.7 m.

- **Alternativa IV**

La limpieza de la Tubería de Distribución (TD)

En estos tramos la pérdida de carga es de 7.35 m si se efectúa el trabajo de limpieza y pintado se podría recuperar 2.36 m. es decir la pérdida se reduciría a 4.99 m.

- **Alternativa V**

La limpieza de la Tubería Forzada dado el proyecto (TF)

En estos tramos la pérdida de carga es de 34.9 m si se efectúa el trabajo de limpieza y pintado se podría recuperar 13.22 m. es decir la pérdida se reduciría a 21.68 m.

Nota:

No se toma en cuenta la Tubería Forzada Inclínada ya que la pérdida de carga en ese tramo es 1.413 m lo cual es muy bajo y con la limpieza se reduciría a 0.823 m.

4.1.9 COTIZACIÓN

Cotización del trabajo de limpieza y pintado

Se realizó una cotización sobre la limpieza y pintado de las Tuberías Forzada a la Empresa CARUSO S.A.

Tramo I : Galería Forzada Blindada

Tramo II Tubería Forzada a la Intemperie

Tramo III Galería Inclínada Blindada

Tramo IV Tubería de Distribución

COTIZACIONES

ARENADO Y PINTADO INTERIOR TUBERIA FORZADA

CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

Propuesta base

TRAMO	PLAZO DE EJECUCION	PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL US\$
1.- Galería Blindada Área : 1,968.872 m ²	21 días	53 . 17	104 , 684 . 92
2.- Tubería forzada a la Intemperie Área : 4,343.105 m ²	46 días	65 . 30	283 , 604 . 75
3.- Galería Inclinada Blindada Área : 10,515.32 m ²	118 días	74 . 45	782 , 865 . 57
4. –Tubería de Distrib. Area = 704.209 m ²	15 días	40 . 50	28 , 520. 464
TOTALES	200 días		US\$ 1'199,675.60

NOTA: Estos precios no incluyen el IGV

El precio unitario incluye:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| * Mano de Obra especializada | * Suministro de Pinturas y Solventes |
| * Equipos de Arenado y Pintura | * Equipo de Aire Comprimido |
| * Equipo de Climatización | * Equipos de Maniobras |
| * Equipo de Corte y Soldadura | * Seguro del Personal. |

ARENADO Y PINTADO INTERIOR TUBERIA FORZADA

CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

EQUIPO ESENCIAL QUE DEBERA TENER EL CONTRATISTA

PARA EFECTUAR LOS TRABAJOS

DESIGNACION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL US\$
Compresora Diesel de 750 CFM mínimo	03	80 , 000 . 00	240 , 000 . 00
Equipo de Climatización	02	75 , 000 . 00	150 , 000 . 00
Equipo de Arenado	10	3 , 500 . 00	35 , 000 . 00
Equipo de Arenado Airless	04	12 , 500 . 00	50 , 000 . 00
Equipo de Corte y Soldadura	02	4 , 500 . 00	9 , 000 . 00
Camión Plataforma	01	40 , 000 . 00	40 , 000 . 00
Camioneta Pick-Up Doble tracción	02	23 , 500 . 00	47 , 000 . 00
Total a acreditar			US\$ 571 , 000 . 00

EQUIPOS ESPECIALES

- * Andamios Tabulares
- * Ventiladores / Extractores
- * Herramientas Especiales
- * Equipos de Maniobras
- * Instrumentos de Medición de la protección Anticorrosiva.
- * Instrumentos de Medida de la Rugosidad.
- * Instrumentos de Control de la Humedad Relativa.
- * Equipos de Control de Calidad de Soldadura.
- * Reflectores, Soportes, Cables de Extensión.

4.1.10. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE LIMPIEZA Y PINTADO

a.- GENERALIDADES

Las tuberías forzadas su longitud total promedio es de 1982.57 m, tiene una variación de sus diámetros internos entre 2.5m y 2.15 m, de los cuales 552.98 m. se encuentran a la intemperie y que tiene un diámetro constante de 2.5 m, y que cuentan con 6 anclajes de concreto; inmediatamente aguas abajo de cada uno de los cuales se encuentra una junta de unión y una junta de expansión.

Presenta dos orificios de hombre de 0.5 m. de diámetro.

El área a pintar es de 14889.66 m²

b.- TRABAJOS PRELIMINARES

Los trabajos preliminares que deberán ejecutarse son los siguientes

- Traslado de equipos y herramientas.
- Instalación de campamentos
- Habilitación de áreas para la instalación de grúas, maquinas, herramientas y equipos, además áreas para el tratamiento de las juntas de expansión que deben ser retiradas

c.- MANIOBRAS Y OPERACIONES REALIZADAS POR LOS OPERADORES DE MANTENIMIENTO DE EDEGEL S. A. A. ANTES Y DESPUÉS DE LA LIMPIEZA DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN

Zona Interna

• Vaciado de la tubería

Para vaciar la tubería a presión, se cierra la válvula mariposa y desaloja el agua con una maquina de servicio cargado con aproximadamente 10 MW. La válvula de ventilación se abre automáticamente para admitir aire al interior de la tubería: por razones de seguridad se aconseja abrir esta válvula completamente pasando el contrapeso al otro lado tan pronto como el agua este bajando.

A una presión de 750m. Se cierra automáticamente las válvulas esféricas del grupo en servicio, a partir de este momento, el vaciado de la tubería se hace por medio del destructor de energía Sulzer.

El tiempo de vaciado de la tubería solo con purgas de las válvulas esféricas abiertas se hace en el lapso de 4 horas con purgas de las válvulas esféricas abiertas o introductores abiertos: y aberturas de agujas a los 100 mca.

- **Maniobras de vaciado**

0.10 Hr.- Bajar la carga hasta tener un grupo en servicio con 10MW. Los demás grupos con válvulas esféricas cerradas.

- Desconectar disparos de grupo por cierre de la válvula mariposa.
- En el grupo de descarga bloquear en aberturas los servomotores de aceite de accionamiento de válvulas Aarhus (cierre automático a 750 mts de agua en la tubería.)

0.15 Hr.- Cerrar la válvula mariposa .Controlar el contrapeso de la ventosa en posición de apertura.

- Abrir purgas aguas debajo de la mariposa y verificar que no haya perdidas.
- Llenar los tanques de refrigeración mientras se tenga el grupo en servicio.

1.15 Hr.- Detener el grupo en servicio cuando el nivel llegue a los 600 mca. Mantener las válvulas esféricas abiertas.

- Abrir válvulas de disparo de energía en 600 mca.

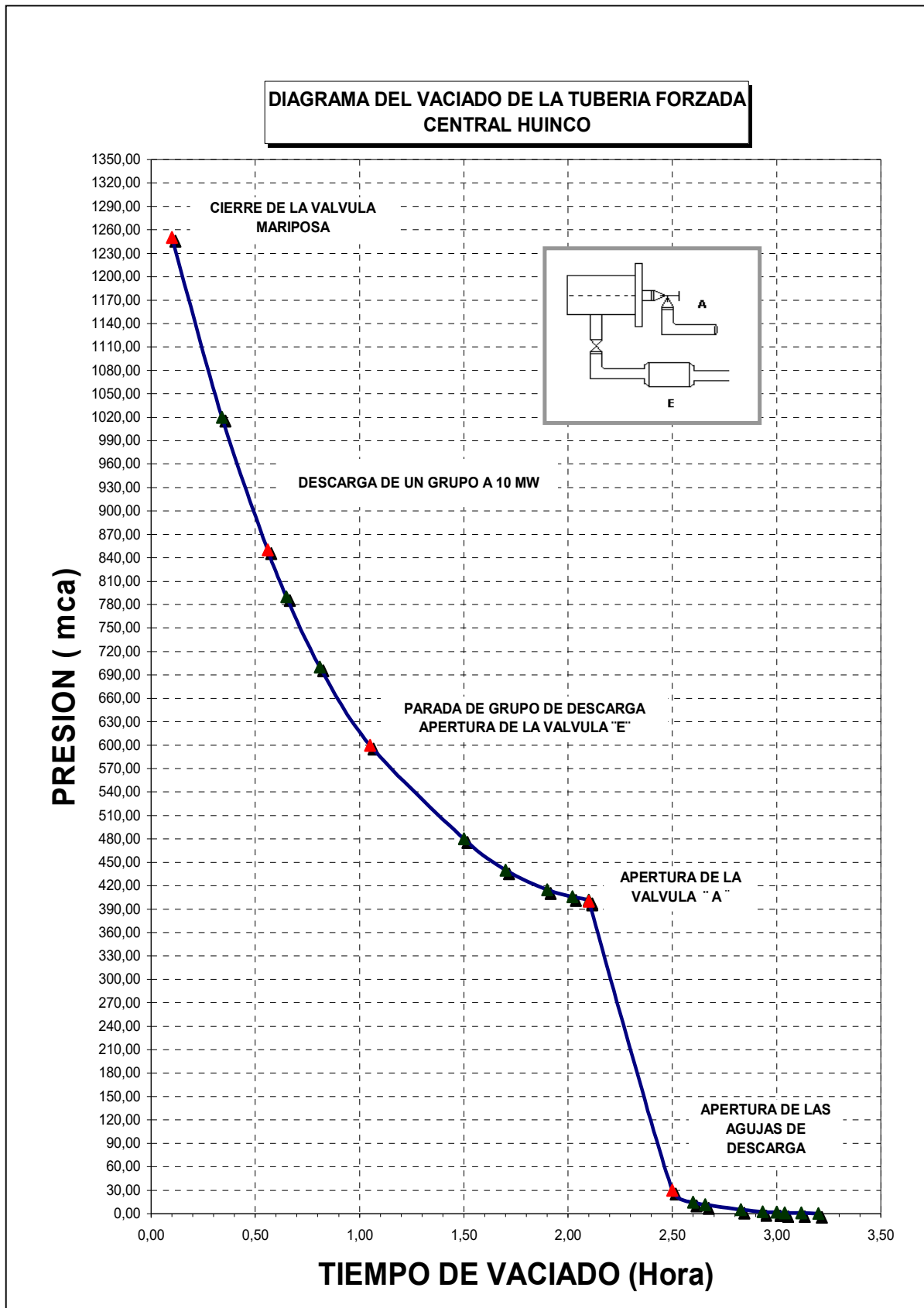
2.15 Hr.- Abrir la válvula Sulzer de descarga directa de cuando se tenga 400 mca. en la tubería.

2.50 Hr.- Abrir las agujas del grupo de descarga cuando se tiene 30 mca.

2.30 Hr.- Tubería vacía, inicio de trabajos de programación.

- Cerrar la válvula Sulzer y la del disipador de energía.
- Cerrar las agujas del grupo de descarga.

Gráfico 4.6



- **Llenado de la tubería**

Para llenar la tubería presión, se abre previamente la válvula de ventilación aguas debajo de la válvula mariposa. Luego de constatar que todas las válvulas de drenaje y accesos de hombre estén cerradas se abre la válvula by-pass de la válvula mariposa, para admitir el agua de la galería a presión a la tubería.

Si las agujas y anillos del introductor de un grupo no aseguran hermeticidad, debe cuidarse un buen cierre de las válvulas esféricas para evitar demoras en el llenado. A medida que esta se llena, el aire escapa por la válvula de ventilación que se cierra automáticamente tan pronto se ha completado el llenado m, en este momento se pasa el contrapeso al otro lado. Con la tubería llena se abre la válvula mariposa y se cierra la válvula by-pass.

El tiempo que demora en llenar la tubería es en el lapso de 4 horas estando la galería totalmente llenada.

- **Maniobras de llenado**

0.0 Hr.- Confirmar que todos los trabajos previstos han sido concluidos.

- Cierre de válvulas de purga aguas debajo de la mariposa.
- Apertura de válvula by-pass para llenado de la tubería (previa coordinación).
- Tubería llena.

3.50 Hr.- Normalización de la posición de la ventosa

4.45 Hr.- Abertura de la válvula mariposa.

- Central disponible para el servicio.

d) Cámara de Válvula - Válvula Mariposa en la Ventana 6

Descripción.-

La válvula mariposa de seguridad $\Phi= 2500$ de Huinco está prevista para cerrarse a partir de su posición máxima o sea toda abierta (caudal máximo).

El cierre se efectuara así:

- a) Por medio de botones – pulsadores.
- b) Por medio de los inductores de manivela.
- c) Por medio del detector de aceleración.

La apertura se efectuará después del equilibrio de las presiones entre aguas arriba y aguas abajo de la lenteja por medio del by-pass desde la sala de la válvula.

Describiremos en primer lugar las maniobras de cierre.

- **Cierre de la Válvula**

- Cierre voluntarios.-**

- 1) Por medio del botón- pulsador (4.23) situado sobre el tablero de comando en la sala de la válvula.

- 2) Por medio del botón- pulsador situado sobre el tablero de la central.

- En los dos casos se efectuara sobre el electroimán de desembrague (37).

- 3) Por medio de los inductores de manivela actuando sobre el mecanismo de desembrague (36).

- Cierre por medio del detector de velocidad (23 al 26)**

- El contrapeso (26) de este último efectuara directamente sobre el rele hidráulico (34).

- La puesta bajo tensión a continuación de una intervención voluntaria de cierre, el electro-imán o el mecanismo de desembrague (36) elevan el gancho (28), liberando el contrapeso (27) que cae sobre la corredera que cae sobre el rele hidráulico (35) desplazando este ultimo de su posición básica y por este hecho mete la cámara inferior de la válvula de accionamiento (30) en escape libre.

- En el caso de cierre por medio del detector de aceleración (25 a 26) es el contrapeso (26) quien, cayendo sobre la corredera del rele hidráulico (34), pone la cámara inferior de la válvula de accionamiento (30) al escape.

- La puesta al escape de la cámara inferior (30) de la válvula de accionamiento (29) permite a la corredera de la válvula mencionada descender, siendo repelida por un resorte (muelle) poniendo así el cilindro de apertura (7) al escape.

- El principio del cierre está asegurado por el contrapeso (4) y el fin de cierre por la excentricidad entre el eje de la válvula y el eje de los gorriones de la lenteja (2). La regulación del tiempo de cierre se hará por medio de los dos diagramas (10).

- **Apertura de la Válvula**

- La primera maniobra consiste en rearmar manualmente el contrapeso (26) del detector de aceleración, o bien el contrapeso (27) del mecanismo de desembrague. Esto dependiendo del sistema de cierre que se haya empleado anteriormente.

En el caso en que el cierre hubiera sido efectuado por medio de los inductores de manivela, no hay que olvidar de rearmar el desembragador (36).

Abrir la ventosa (22) haciendo bascular el contrapeso como indicador en el esquema de funcionamiento y abrir la válvula de servicio del by-pass (21).

Después de desequilibrar las presiones aguas arriba y aguas debajo de la lenteja (2) y una vez la ventosa (22) cerrada, la válvula esta lista para la apertura.

Puesta en marcha del motor (13) apretando sobre el botón- pulsador (4.21) del tablero de comando de la válvula (38) el motor acciona la bomba de husillos (12) que pone en circuito el aceite bajo presión. Las correderas de los rieles hidráulicos (34) (35) que se encuentran en posición alta, habiendo sido rechazadas por un resorte durante la maniobra de rearme del contrapeso (26) (27), permiten a la presión de aceite establecerse dentro de la cámara inferior (30) de la válvula de accionamiento (29).

La corredera de esta última es conducida a su posición alta y deja pasar el aceite bajo presión que alimenta el cilindro de apertura de la válvula (7) a través de la los diagramas (10). El pistón (6) sube, y por intermedio de la biela (5) y de la palanca (49) hace girar la lenteja (2) a 90° abriendo así la válvula mariposa.

Al final de la abertura de la válvula, el contacto (4.1) para el motor (13) de la bomba de apertura (12).

En el caso de una falta de corriente eléctrica la válvula puede abrirse por medio de la bomba de socorro de mano (11).

Mantenimiento de la válvula en posición abierta

El contrapeso de iniciación del cierre (4) tiende a cerrar la válvula creando presión de aceite en el cilindro (7).

Esta presión se transmite a través de la válvula de accionamiento (29) y los reles (34) (35) a la cámara inferior (30) de la válvula de accionamiento en su posición alta.

Cuando la válvula se cierra de 3° aproximadamente, como consecuencia de las perdidas en el circuito de aceite, el motor (13) de la bomba de husillo de apertura (12) se pone en marcha por medio de contacto (4.2) y la válvula vuelva a ocupar su posición de toda abierta. En este instante el contacto (4.1) para de nuevo el motor (13).

Manutención

- **Engrase**

Todos los puntos de fricción importantes están provistos de engrasadores "Tecalemit" y deben engrasarse una vez por semana.

Los puntos de fricción menos importantes serán impregnados de grasa o engrasados por medio de un engrasador. Todos los productos de engrase empleados serán exentos de ácidos.

- **Nivel de aceite**

El nivel de aceite será controlado al menos una vez por semana y después de cada maniobra de la válvula.

- **Escurremientos**

Control mensual de las pérdidas en las juntas de estanqueidad.

NOMENCLATURA DE LA VÁLVULA MARIPOSA EN LA CAMARA DE VÁLVULA

<i>PARTES</i>	<i>UBIC</i>
Cuerpo de la válvula	1
Lenteja	2
Leva de mando de los interruptores	3
Palanca del contrapeso, encebamiento de cierre	4
Biela	5
Pistón del cilindro de apertura	6
Cilindro de aceite de apertura	7
Deposito de aceite	8
Nivel del depósito de aceite	9
Diafragma de frenado al cierre	10
Bomba de socorro accionado a mano	11
Bomba de huesillo de Apertura	12
Motor eléctrico de la bomba de huesillo de apertura	13
Válvula de seguridad	14
Válvula de retención	15-16
Válvula guardia de descarga aguas arriba	17
Válvula de servicio de aguas arriba	18
Válvula de descarga de aguas abajo	19
Válvula de guardia del by-pass	20
Válvula accionada a mano	21
Ventosa automática	22
Muelle de reglaje del detector de aceleración	23
Palanca de desembague del detector de aceleración	24
Paleta del detector de aceleración	25
Contrapeso para el accionamiento del cierre de la válvula por medio del detector de aceleración	26
Mecanismo de desembague de la válvula, contrapeso del rele hidráulico	27
Gancho de fijación del contrapeso del mecanismo de desembague	28
Válvula de accionamiento de la válvula principal.	29
Cámara inferior de la válvula de accionamiento de la válvula principal	30
Calefacción del armario de comando de la válvula	31

PARTES	UBIC
Piloto indicador de " Detector desembragado"	32
Relé hidráulico accionado por el contrapeso del detector de aceleración.	34
Relé hidráulico accionado por el contrapeso del dispositivo de desembrague de la válvula de accionamiento de la válvula mariposa	35
Mecanismo de desembrague por medio del inductor de manivela	36
Electro-imán de desembrague de la válvula, accionado por botón-pulsador.	37
Tablero de comando de la válvula	38
Cofre de accionamiento de la bomba de huesillos de apertura.	39
Pilote de posición Válvula abierto o válvula cerrada	40
Manómetro indicando la presión de aceite del grupo motobomba.	41
Manómetro indicando la presión de agua en la tubería aguas arriba de la válvula mariposa.	42
Contador de maniobra de la puesta en marcha del motor de accionamiento de la bomba de huesillo de apertura.	43
Manostatos impidiendo el arranque del grupo moto-bomba de apertura de la válvula antes de que el equilibrio de la presión aguas arriba y aguas abajo se haya realizado	44

Funciones de los contactos del esquema.

<i>Paro del motor de la bomba de huesillo cuando la válvula esta toda abierta</i>	4.1
Puesta en servicio del motor de la bomba de huesillo cuando el recierre de la lenteja alcanza aproximadamente 3°.	4.2
Señal: válvula abierta entre la abertura total y 4° de "Cierre"	4.3
Conecta la alarma cuando el recierre alcanza 5°	4.4
Comanda el cierre de todas las turbinas cuando el cierre de la lenteja alcanza los 10°	4.5
Señalización válvula cerrada	4.6
Accionamiento del contador de la respuesta en marcha del grupo motor-bomba.	4.7
Impide el arranque del motor del grupo moto-bomba si previamente a habido desembrague o disparo por medio del detector de aceleración	4.8
Señalización " Detector desembragado "	4.9
Impide el arranque del motor del grupo moto-bomba si se ha procedido anteriormente al cierre de la válvula bien sea por medio de botones pulsadores o de los inductores de manivela.	4.10

Funciones de los botones- pulsadores

<i>Arranque del grupo de bombeo de aceite</i>	4.21
Paro del grupo de bombeo de aceite	4.22
Mando de cierre de la válvula desde el tablero de la sala de las válvulas	4.23

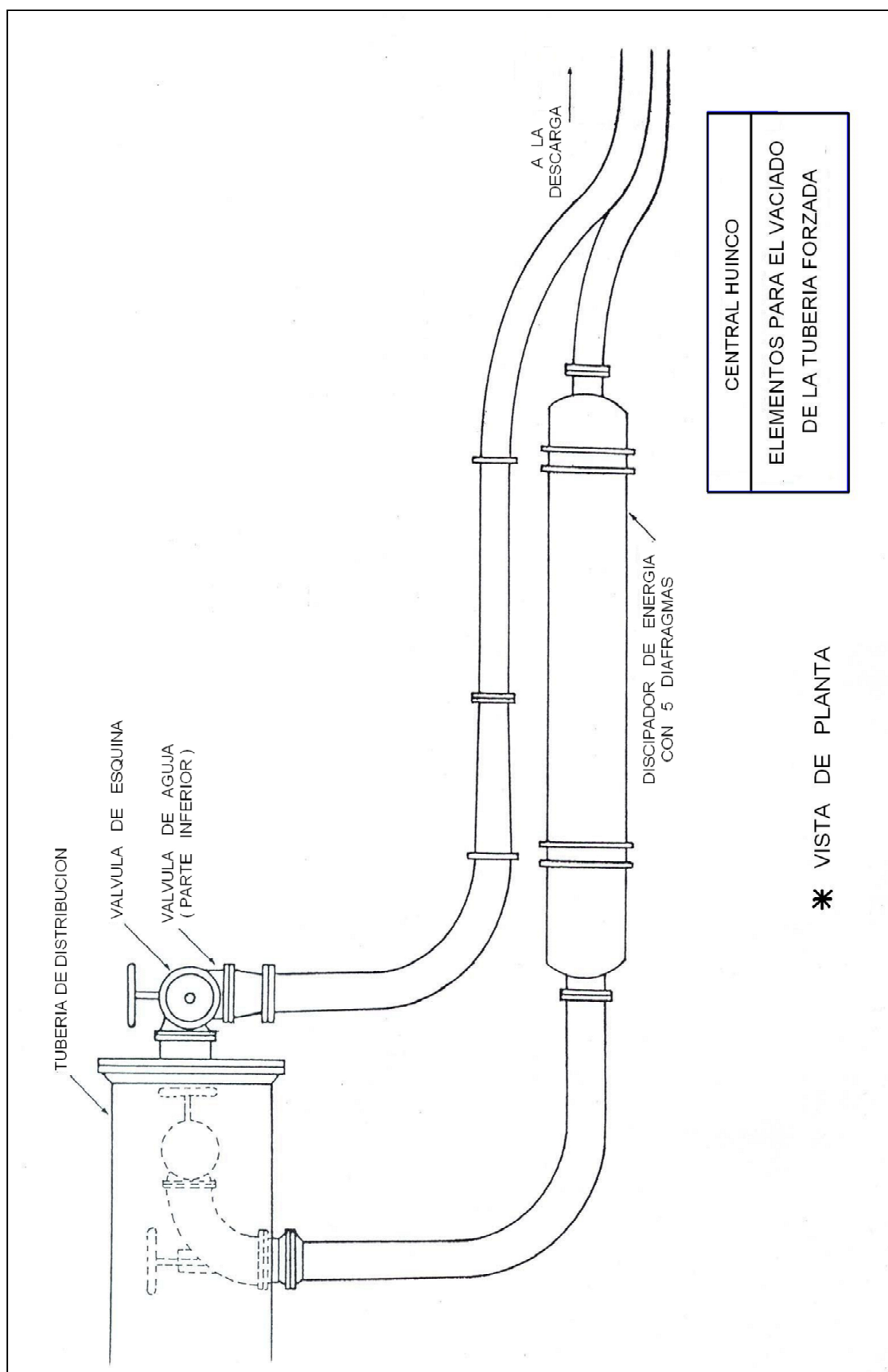
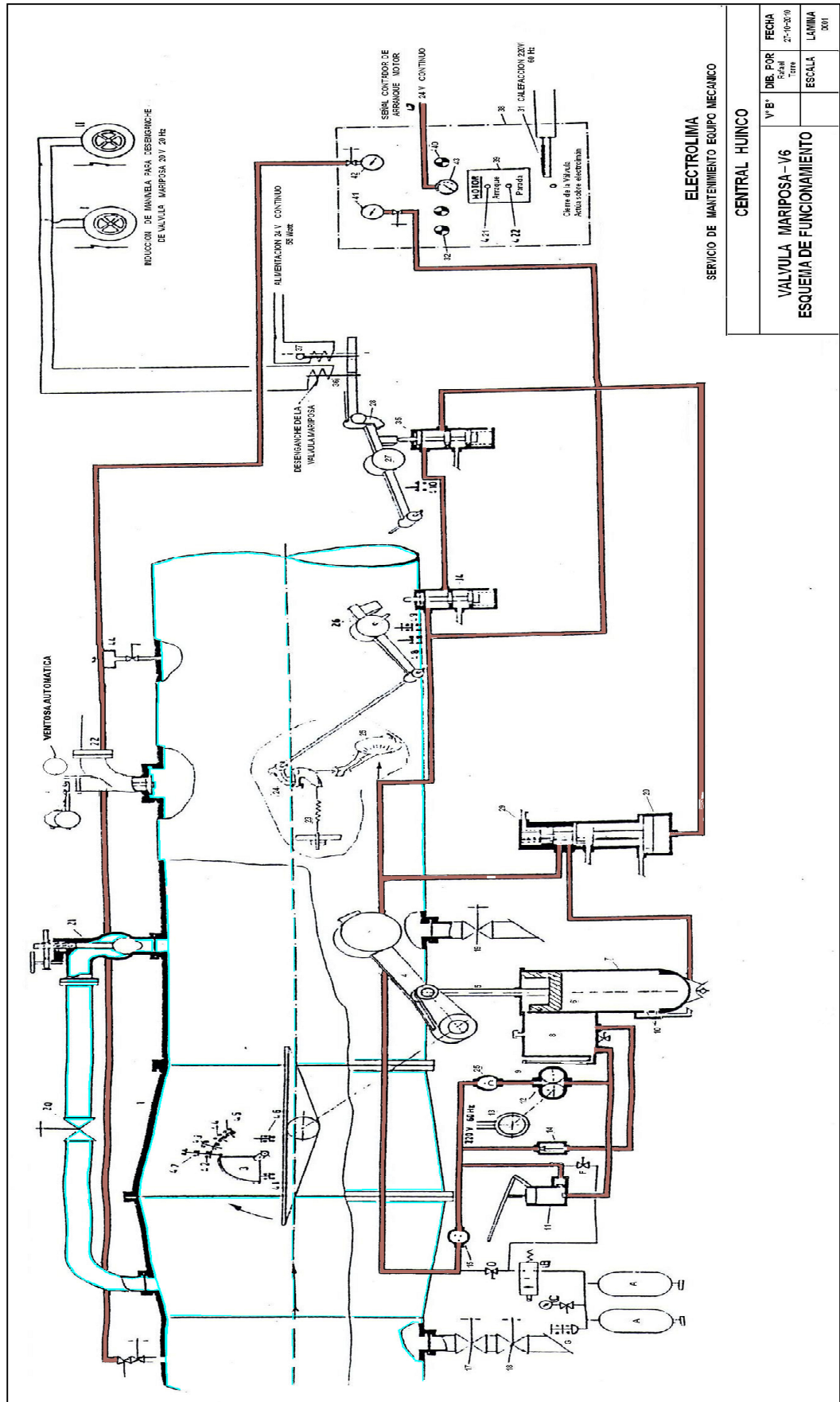


Gráfico 4.7

Válvula mariposa - V6

Esquema de funcionamiento



PASO DE HOMBRE

CAMARA DE VALVULA



e.- Trabajos de limpieza por tramos

1.-- En la tubería enterrada

Para la limpieza de este tramo, el acceso es difícil por la pendiente y por la poca seguridad para permanecer en su interior de la tubería, se necesitaría equipos especiales para la limpieza y pintado.

2.- En la tubería a la intemperie

Su limpieza y pintado es más factible por su acceso por el orificio hombre por los se usaría los siguientes materiales.

- Ubicación de andamios para trabajos de corte y soldadura de las tuberías, para la sujeción de la misma y el alineamiento
- El tubo debe estar soportado muy axial y verticalmente en el sitio donde se procederá el corte
- Deberá marcar las posiciones axiales de las piezas antes de desmontaje, para garantizar que el ensamble se realice en la misma posición.
- Antes de realizar el corte, se deberá efectuar la limpieza interior y exterior de la zona de corte
- Previo a la ejecución de corte se deberá registrar la temperatura de la tubería

NOTA :

Se deberá implementar todas las medidas de seguridad necesaria para evitar en lo posible cualquier accidente considerando que las condiciones de trabajo son muy exigentes y los daños que puedan ocasionarse serán de entera responsabilidad del contratista.

3.- Corte y soldadura de las tuberías a la intemperie

Corte

- Básicamente los tubos deben cortarse con equipos de oxicorte o con plasma, teniendo en cuenta que el corte sea recto y no más ancho de 2 a 3 mm.
- Después del corte y antes de desmontar las juntas de unión, deben fijarse las expansiones entre el interior y exterior del tubo.

Soldadura

- Las dos primeras capas de soldadura deben aplicarse desde el interior del tubo y la última desde el exterior.
- Los cantos de la tubería soldada deberán ser reforzados en toda la circunferencia con una platina de acero estructural de 150 mm. De ancho y de espesor similar al de la zona a reforzar.
- Todas las soldaduras deben comprobarse al 100% con ultrasonido y 10% con rayos X además de los controles con partículas magnéticas y líquidos penetrantes.

4.- Escarificado y limpieza interior de las tuberías forzadas

Para el escarificado interior de las tuberías forzadas, es necesario disponer de equipos, apropiados los mismos que deberán contar con los implementos que permitan extraer las incrustaciones adheridas en la pared interior de las tuberías.

Para el trabajo de limpieza se realiza lo siguiente:

- **Para el sistema epoxico --- Arenado al metal blanco**

Se hace la limpieza mediante un chorro de arena, hasta el metal blanco según el SSPC-SP-5-63, el grado de arenado debe ser de la clase 2 ½ según la escala seca SIS-5900-1967, con una profundidad de rugosidad mínima de 2 mils.

Para la eliminación de toda costra de laminado, escama de óxido, escoria, pintura antigua y demás suciedades visibles como es la acumulación de **caliche** por medio de arenado. La superficie arenada presentará un aspecto metálico uniforme, color grisáceo ligeramente raspado y proporcionará un anclaje adecuado a la pintura.

Después de realizar el arenado, se elimina el polvillo mediante escobillado o soplado con aire a presión y luego se aplica el anticorrosivo.

f.- Sistema de recubrimiento y procedimiento a tenerse en cuenta para efectuar los trabajos de arenado y pintado interior y exterior de la tubería de presión

- **Generalidades.-**

Estas especificaciones se refieren a los trabajos a realizar para arenado y pintado interior, exterior de la tubería Forzada de la central Hidroeléctrica de Huinco.

Tramos de la Tubería a ser Arenado y Pintado

TRAMO I : Galería Forzada Blindada

TRAMO II : Tubería Forzada a la intemperie

TRAMO III : Tubería Inclinada Blindada

TRAMO IV : Tubería de Distribución.

- **Alcance del Trabajo**

El alcance del trabajo de arenado y pintado de la tubería Forzada comprende la ejecución de los trabajos preliminares, la provisión de todos los equipos de Arenado y Pintado, Herramientas, Pinturas y Solventes, Equipos de Maniobras, Materiales Consumibles y Personal Técnico Calificado.

El alcance del trabajo incluye un supervisor Residente de la empresa proveedora de la pintura y un documento de garantía de buena performance de las pinturas aplicada por un periodo de 5 años.

El contratista deberá presentar certificados de control de calidad de las pinturas ofertadas incluyendo pruebas de niebla salina.

El contratista deberá acreditar su desempeño en obras de naturaleza y magnitudes similares a la de la obra en cuestión en el curso de los últimos 10 años, indicando las fechas de inicio y terminación.

Estas obras no tienen carácter limitativo, el contratista de acuerdo a su experiencia propondrá detalles que estime conveniente para ejecutar los trabajos en forma satisfactoria.

Standares y Normas

ASNI American National Standard Institute

ASME American Society of Mechanical Engineers

ASTM American Society for Testing of Materials

AWS	American Welding Society
SSPC	Steel Structure Paints Council
SIS	Swedish Standard Institution
DIN	Deutsche Industries Normen
NACE	National Association Corrosion Engineers
ISO	International Standardization Organization

- **Preparación de la superficie**

Limpieza mediante chorro erosivo (escoria de cobre o granalla) a alta presión hasta llegar al metal blanco según norma SSPC-SP-5 (SIS 055900 Grado Sa 3) con un perfil de rugosidad de 1.5 a 2.0 mils.

La superficie arenada presentara un aspecto rugoso de color gris metálico uniforme, los vestigios de laminación del acero deben ser esmerilados y de ser necesario rellenarse de soldadura, esmerilar y nuevamente arenado hasta obtener la rugosidad necesaria.

Las operaciones de arenado deben realizarse cuando las superficies están completamente secas para la cual deberá extraerse la húmeda ambiental propia de la caverna mediante equipos extractores y/o ventiladores.

Para ejecutar las operaciones de Arenado y pintado en este tramo III, deberá instalarse un sistema ambiental con la finalidad de tener la superficie completamente seca, por cuanto se va a presentar el fenómeno de condensación que impediría los trabajos.

La superficie arenada será recubierta con el anticorrosivo especificado el mismo día en que se efectuó el arenado, caso contrario deberá arenarse de nuevo.

- **Pintado Interior**

La pintura a aplicarse deberá cumplir con las siguientes especificaciones técnicas :

1^{era} Etapa : Anticorrosivo a base de Zinc Orgánico de alto contenido de sólidos (60 – 70) %. Porcentaje de peso de Zinc Metálico en la película seca será : 88% aprox.

Espesor de película seca : 2.5 mils. (62.50 micrones)

2^{da} Etapa : Capa de enlace **TIE COAT** entre el Zinc Inorgánico y las capas de acabado, a base de alquitrán de hulla y resina Epoxy Poliamida, de gran poder de humectación y excelente resistencia a la abrasión.

Espesor de película seca : 1.0 a 2.0 mils. (25 a 50 micrones)

3^{era} Etapa : 1 capa de **COALTAR epoxy con aducto de amina H.B.** a un espesor de película seca de 16 mils. (400 micrones) en una capa, eliminando el problema de adhesión entre capas.

Se recomienda un recubrimiento a 16 mils. en una capa para facilitar la operación de pintado. El contratista puede ofertar este espesor en dos o más capas.

El espesor total del sistema d pintado será : 18.5 mils. (462.50 micrones)

4.2 CENTRAL HIDROELÉCTRICA MATUCANA

4.2.1 CALCULO DEL ÁREA DE LA SUPERFICIE DE LA TUBERÍA FORZADA

Solo presenta una tubería que esta empotrada.

- Galería Inclined Blindada

Cálculo de la superficie interna

TRAMO	LONG. (m)	DIAM. PROM	AREA SUPERF. (m ²)
VENT (8ª –9)	330.88	2.20	2286.878
VENT (9 –10)	381.32	2.15	2575.597
VENT (10 --11)	398.27	2.10	2627.524
VENT (11 –12)	629.48	1.90	3757.383
VENT (12 –TD)	84.83	1.80	479.7026
TOTAL	1824.78		11727.08

TD = Tubería de distribución

NOTA : Los valores característicos de cada tramo de la tubería se encuentran en el **Gráfico 6a**

*** Área total a pintar en la Galería Inclined Blindada de Matucana ... 11727.08 m²**

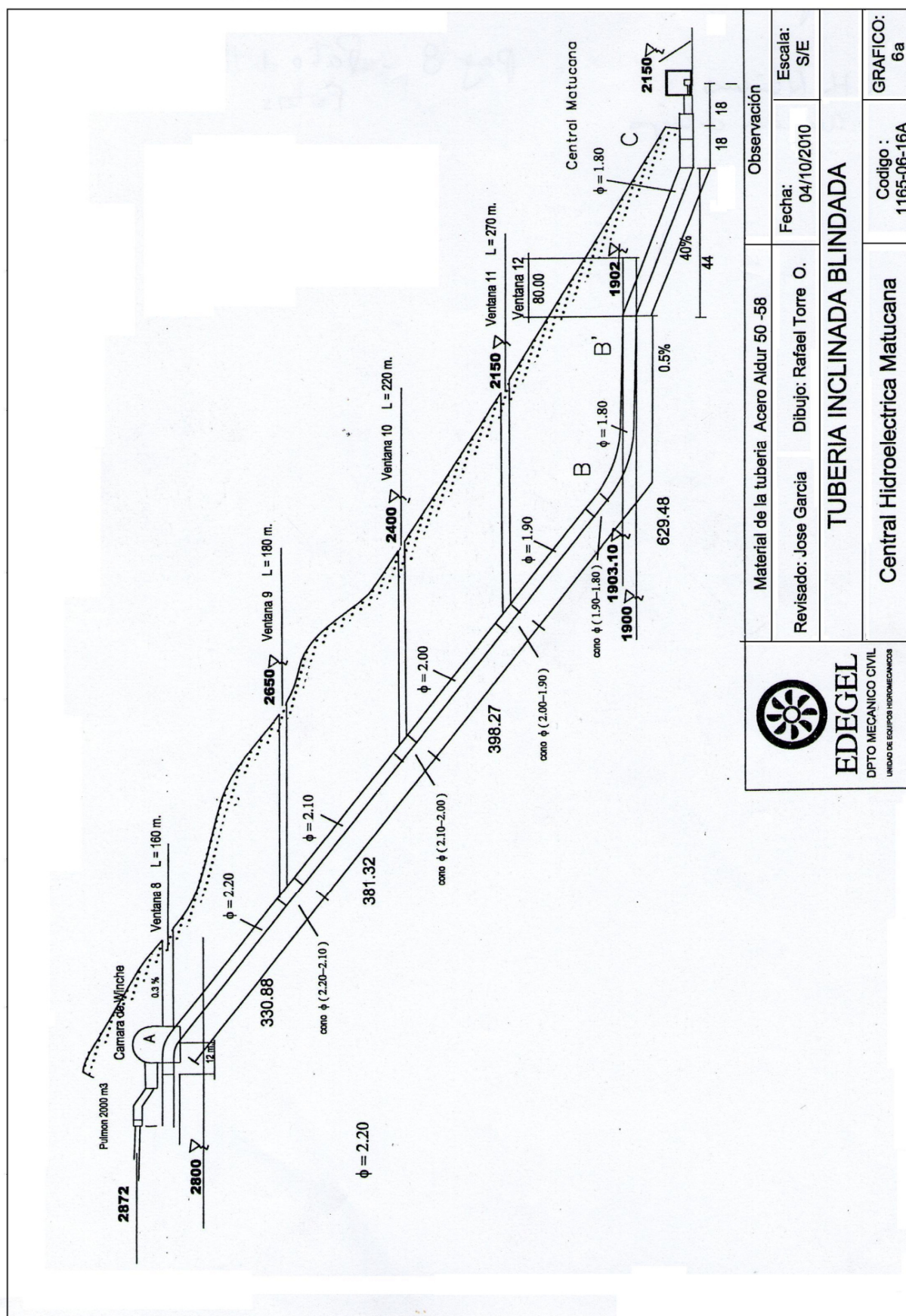


Grafico 6.a

4.2.2 PÉRDIDAS DE CARGA EN LA TUBERÍA FORZADA NUEVA (SIN CALICHE)

Para el cálculo de las pérdidas de carga, como tubería limpia se considera la rugosidad estar en un rango (0.05 – 0.1) mm. por lo cual se toma la rugosidad más crítica 0.10 mm. = 0.0001 m. (ver anexo1)

Y con el caudal 16.25 m³/seg. ,ya que fue el caudal máximo realizada en la prueba efectuada en la Central

Hallando la pérdida de carga en la tubería forzada dadas las características que están en la tabla a completar.

Usamos las fórmulas :

1.- Número de Reynolds $Re = \frac{V D}{\nu}$

2.- Coeficiente de fricción – (Colebrook y White)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{2.52}{Re \sqrt{f}} \right)$$

3.- Fórmula de Darcy – Weisbach,

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Para encontrar el valor de f se resuelve por iteraciones.

Por lo cual usamos el programa Excel (hoja de cálculo) para completar la tabla y para cálculos básicos el programa en Visual Basic (Perdida por fricción)

- Pérdidas por longitud

TRAMO	VENT (8a -9)	VENT (9-10)	VENT (10 -11)	VENT (11 -12)	VENT (12 -C.M.)	TOTAL
Longitud	330,88	381.32	398.27	629.48	84,83	1824,78
Diam Dt (m)	2,2	2,1	1,95	1,9	1,85	
Pendiente %	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9	
Area A (m)	3,8013	3,4636	2,9865	2,8353	2,6880	
Velocidad	4.2748	4.6916	5,4412	5,7313	6.0453	
Rugosidad e (m)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
e/Dt	0.000045	0.000048	0.000051	0.000053	0.000054	
Factor de fricción	0.01054	0.01063	0.01077	0.01082	0.01087	
Perdidas primarias (m)	1.48176	2.17264	3.33062	6.02214	0.93157	13.9387

Programa en Visual Basic para encontrar el valor de f y el valor de la pérdida de carga longitudinal

Programa en Visual Basic ... Rafael Torre.....10-09-2011

CENTRAL HIDROELECTRICA MATUCANA

CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERIAS FORZADAS

CARACTERISTICAS DE LA TUBERIA FORZADA

Caudal (m3/seg) **16.25**

Longitud (m) **330.88** Diametro (m) **2.2**

Espesor Caliche (m) **0** Rugosidad (m) **0.0001**

RESULTADOS

Area (m2) **3,801**

Velocidad (m/s) **4,275** Numero de Reynolds **9405000**

Tipo de flujo **Flujo Turbulento**

Formula de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} + \frac{e/D}{3.71} \right]$$

x = y

Usando calculos iterativos

Valor de f Inicial **0.0107**

Coeficiente de fricción (f) **0,01072**

Hallando la pérdida de carga por fricción no incluye las pérdidas por accesorios

Pérdida de carga (m) **1,50181**

Prueba

x = **9,6674**

y = **9,6576**

(el diagrama de flujo y el código del programa están en los anexos 6 y 7)

- Pérdidas por accesorios

Conos	VENT (9-10)		VENT (10 -11)	VENT (11 -12)	TOTAL
Longitud (m.)	29,12	21,32	21,05	12,29	
Diámetro (m.)	(2.20 - 2.10)	(2.10 – 2.00)	(2.00 - 1.90)	(1.90 - 1.80)	
Ángulos °	0,20	0,28	0,28	0,48	
Const. Perd . k	0,000124	0,000182	0,00019	0,000343	
Perdidas Sec.. (m.).	0,0000079	0,0000141	0,0000180	0,0000401	0,0000802

Codo	VENT (11 -12)	VENT (12 –C.M.)		TOTAL
Angulos °	44,40	44,40	24,23	
Const. Perd . k	0.2200	0.2200	0,0800	
Perdidas Sec..	0.02803	0.02803	0.01168	0.0677

Accesorio	Válvula
Angulo °	5
Const. Perd k	0.05
Perdidas sec. (m)	0.000165

La pérdida de carga total en la Central Matucana es = 14.007 m.

Lo que representa el **1.42 %** de la caída bruta, con la Tubería de Distribución grupo 1 es **17.508 m.**

Nota :

Las pérdidas de carga total como Tubería limpia en C. Matucana es = **19.75 m.** incluyendo las Tubería de Distribución grupo 1 considerando una rugosidad de 0.0002 m. la cual se encuentra en la Anexo 6.7 para diferentes rugosidades .

4.2.3- ESTADO ACTUAL DE LAS TUBERÍAS (CALICHE)

INSPECCIÓN

El estado de la tubería es el siguiente:

En la actualidad el interior de las tuberías está cubierto por una capa de caliche de 2. mm. de espesor promedio que es necesario desalojar debido a que ocasiona disminución de la eficiencia de los grupos.

El acceso inmediato a las tuberías se logra mediante las ventanas, en este caso la central Matucana tiene 5 ventanas .

La formación de caliche en la parte interior de las tuberías origina una pérdida de carga que afecta directamente la potencia de los grupos hidráulicos y por otro lado, al no efectuarse el mantenimiento de las tuberías forzada, estaría originando un deterioro acelerado por la corrosión.

Las muestras de caliche son como laminas delgadas.

Las muestras presentan dos zonas características que podrían describirse de la siguiente manera.

Zona 1: Es una película muy fina, de color pardo claro, lisa y homogénea.

Zona 2: Es de mayor grosor, es de color negro matizado o de color pardo oscuro

TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE CALICHE

Se realizó dos tratamientos:

- 1- Se llevo a un proceso de secado a una temperatura de 200 C, con la finalidad de eliminar la húmeda de la muestra.

Se hizo un tratamiento químico de la muestra, obteniendo la presencia de los siguientes elementos en porcentajes como elementos totales:

26% de calcio, 5.8 % de manganeso, 1% de hierro, siendo estos los más altos, de donde se puede afirmar que es una costra calcárea.

- 2- Sobre la base de los resultados obtenidos en el tratamiento anterior, fue necesario evaluar y modificar el análisis.

Las muestras se llevaron a una temperatura de 1000 C, por espacio de 1h. el cual eliminaría el agua existente en la muestra, dando como resultado la presencia de óxidos

De los resultados se puede concluir el poder corrosivo de las aguas, por lo que se recomienda hacer un muestreo periódico de las aguas.

Nota: Esta información del análisis de la muestra fue tomada del informe presentado en 2003 por Edegel .sobre Análisis de muestras en la Central Matucana y Callahuanca

4.2.4 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LA TUBERÍA FORZADA (CON CALICHE)

Para evaluar el retorno de inversión del trabajo de limpieza y pintado se tiene que medir la eficiencia de las turbinas y determinar el nivel de recuperación de eficiencia de las tuberías forzadas.

Mediante un trabajo coordinado entre la oficina técnica y el equipo mecánico civil ha efectuado las mediciones de caudal, potencia y presión manométrica previo a los trabajos efectuados.

Trabajos preliminares

Para la medición de presión se seleccionaron secciones de medida en los tubos del introductor superior e inferior, donde se realizo la perforación y roscado de agujeros.

Se utilizaron válvulas de bola y mangueras de alta presión, para la instalación de tomas de presión dispuestas de acuerdo a lo señalado en la Norma IEC 41, y se levanto la curva de calibración para los transmisores de presión utilizados.

Para la medición del caudal, se utilizo el equipo ultrasonido Panametrics instalado en una zona previamente descalichado de la tubería.

Equipos e instrumentos

Medidor Multifunción QUANTUM	Precisión 0.2 % Para medir potencia activa en el grupo
Medidor Ultrasónico PANAMETRICS	Precisión ± 2 % de la lectura Para medir caudal total en la tubería Forzada en "simple traveso
Instrumentos PAROSCIENTIFIC	Para medir presión con 0.01%. de precisión.
Manómetro Analógico Calibrado	Con manómetro de pesas de 0.25% de precisión
Equipo RITTMAYER	Medición de la Cota del espejo de agua en la represa Sheque y leído en la sala de mando

INSTALACIÓN DEL CAUDALÍMETRO EN LA TUBERÍA FORZADA



4.2.5 PROCEDIMIENTO EFECTUADOS PARA LOS CÁLCULOS DE LAS PERDIDAS DE CARGA (FORMA EXPERIMENTAL)

Dado el cronograma de trabajo de Edegel, de 12:00 pm a 8:00 am. Por ser un horario de menor consumo de energía eléctrica, se efectúan los procedimientos de trabajos de medición para los cálculos de pérdida de carga de la Central Matucana.

Procedimientos:

- Se instala los instrumentos de medición.
- Se desarrolla 6 pruebas

Para una determinada prueba n° 3.

1. .- Para el caudal se toma diferentes datos con el caudalímetro instalado en la tubería forzada dentro de la casa de maquinas antes de la tubería de distribución en un determinado intervalo de tiempo .

Obtenidos los datos se toma el promedio de los datos del caudal se visualiza en el cuadro (Tabla I)

Entonces el caudal a tomar como dato es el promedio de los caudales dados $\text{Caudal} = 9.74 \text{ m}^3/\text{seg}$

2. .- Se toma los datos de la presión manométrica y la presión absoluta en el G1 y G2 (grupo 1 y 2) .
3. .- Se toma el nivel del pulmón
4. .- Se efectúa una variación de potencia, con el cual se trabaja con el funcionamiento de un grupo, dos grupos, tres grupos o todos los grupos la vez de acuerdo al criterio de las pruebas

- Tomando todos estos datos reunidos, tanto las características principales y las datos preliminares de la central se completa la tabla de datos

- 1.- Protocolo de pruebas para evaluar las pérdidas de carga
- 2.- Resultado de las pérdidas de carga

TABLA I
PRUEBA n° 3

Potencia	Variación del Caudal en un determinado tiempo Q (m ³ /seg)			
80.51 Mw	9.76	9.75	9.78	9.69
	9.78	9.72	9.77	9.68
	9.76	9.76	9.74	9.70
	9.73	9.77	9.72	9.72
Caudal promedio Q (m ³ /seg)				9.74

TABLA II
PRUEBA n° 6

Potencia	Variación del Caudal en un determinado tiempo Q (m ³ /seg)			
129.51 .Mw	16.27	16.27	16.26	16.24
	16.24	16.24	16.22	16.26
	16.28	16.21	16.24	16.27
	16.23	16.23	16.21	16.28
Caudal promedio Q (m ³ /seg)				16.25

CALCULO DE UNA PRUEBA

- Para la Prueba 3:

Datos registrados

Potencia de la Central = $P_{\text{Central}} = 80.51 \text{ MW}$

Caudal Total = $Q_{\text{Total}} = 9.74 \text{ m}^3/\text{s}$

Potencia del Grupo1 = $Pot_{G1} = 39.960 \text{ MW}$

Potencia del Grupo2 = $Pot_{G2} = 40.55 \text{ MW}$

Presión Absoluta del Grupo1 = $P_{\text{abs_G1}} = 96.56 \text{ Bar}$

Presión Absoluta del Grupo2 = $P_{\text{abs_G2}} = 96.54 \text{ Bar}$

Caudal x Grupo(n)

$$Q_{G(n)} = \frac{Pot_{G(n)}}{Pot_{\text{Central}}} Q_{\text{Central}}$$
$$Q_{G(1)} = \frac{39.96}{80.51} (9.74) = 4.83 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$Q_{G(2)} = \frac{40.55}{80.51} (9.74) = 4.91 \text{ m}^3/\text{s}$$

Corrección de la Presión Absoluta en el manómetro:

- Presiones corregida según el manómetro N°65410 (Grupo 1)

$$P_{\text{abs_G}(1)} = (1.000996346 * P_{\text{abs_G}(1)} + 0.000862502) \text{ Bar}$$

$$P_{\text{abs_G}(1)} = 96.65 \text{ Bar}$$

- Presiones corregida según el manómetro N°65409 (Grupo 2)

$$P_{\text{abs_G}(2)} = (1.001509301 * P_{\text{abs_G}(2)} - 0.022685291) \text{ Bar}$$

$$P_{\text{abs_G}(2)} = 96.66 \text{ Bar}$$

Cálculo de la altura Neta (G1) :

$$P_{\text{amb}} = 0.8067 \text{ Bar}$$

$$P_{\text{abs_G}(1)} - P_{\text{amb}} = (96.65 - 0.8067) \text{ Bar}$$

$$P_{\text{abs_G}(1)} - P_{\text{amb}} = 95.85 \text{ Bar}$$

Cota del manómetro = $Z_1 = 1882.32 \text{ m}$

Cota tangente del chorro = $Z_2 = 1885.39 \text{ m}$

$$Z_1 - Z_2 = -3.07 \text{ m.}$$

$$Q_{G1} = 4.83 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_{tub} = 723 \text{ mm.}$$

$$A_{tub} = 0.41 \text{ m}^2$$

$$\frac{V_m^2}{2} = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\left(\frac{1}{2}\right) \frac{Q_{G1}}{A_{tub}} \right]^2$$

$$\frac{V_m^2}{2} = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\left(\frac{1}{2}\right) \frac{4.83}{0.41} \right]^2 = 17.35 \text{ Kj / Kg}$$

$$H_{neta_1} = \text{Altura neta_1}$$

$$\rho_{agua_prom} = 1001.891 \text{ Kg/m}^3$$

$$g_{prom} = 9.775 \text{ m/s}^2$$

$$H_{neta_1} = \left(\frac{(P_{abs_G(1)} - P_{amb}) * 10^5}{\rho_{agua_prom}} + (Z_1 - Z_2) * g_{prom} + \frac{V_m^2}{2} \right) * \left(\frac{1}{g_{prom}} \right)$$

Reemplazando valores :

$$H_{neta_1} = \left(\frac{95.85 * 10^5}{1001.891} + (-3.07) * 9.775 + 17.35 \right) * \left(\frac{1}{9.775} \right)$$

$$H_{neta_1} = 977.42 \text{ m}$$

Cálculo de la altura Neta (G2) :

$$P_{amb} = 0.8067 \text{ Bar}$$

$$P_{abs_G(2)} - P_{amb} = (96.66 - 0.8067) \text{ Bar}$$

$$P_{abs_G(2)} - P_{amb} = 95.86 \text{ Bar}$$

Cota del manómetro = $Z_1 = 1882.32 \text{ m}$

Cota tangente del chorro = $Z_2 = 1885.39 \text{ m}$

$$Z_1 - Z_2 = -3.07 \text{ m.}$$

$$Q_{G2} = 4.91 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_{tub} = 723 \text{ mm.}$$

$$A_{tub} = 0.41 \text{ m}^2$$

$$\frac{V_m^2}{2} = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\left(\frac{1}{2}\right) \frac{Q_{G2}}{A_{tub}} \right]^2$$

$$\frac{V_m^2}{2} = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\left(\frac{1}{2}\right) \frac{4.91}{0.41} \right]^2 = 17.85 \text{ KJ / Kg}$$

$$H_{neta_2} = \text{Altura neta}_2$$

$$\rho_{agua_prom} = 1001.891 \text{ Kg/m}^3$$

$$g_{prom} = 9.775 \text{ m/s}^2$$

$$H_{neta_2} = \left(\frac{(P_{abs'} - G(2) - P_{amb}) * 10^5}{\rho_{agua_prom}} + (Z_1 - Z_2) * g_{prom} + \frac{V_m^2}{2} \right) * \left(\frac{1}{g_{prom}} \right)$$

Reemplazando valores :

$$H_{neta_2} = \left(\frac{95.86 * 10^5}{1001.891} + (-3.07) * 9.775 + 17.85 \right) * \left(\frac{1}{9.775} \right)$$

$$H_{neta_2} = 977.49 \text{ m}$$

Perdidas totales :

Cota de rebose en Pulmón = 2872.56 m.

Cota tangente de chorro = 1885.39 m.

Nivel del Pulmón = -0.64 (*)

(*) Cota del espejo de agua en el pulmón medido con equipo ultrasónico y leído en la sala de mando de la Central

$$H_{neta_prom} = \frac{1}{Q_{Total}} (H_{neta_2} * Q_{G2} - H_{neta_1} * Q_{G1})$$

$$H_{neta_prom} = \frac{1}{9.74} (977.34 * 4.83 - 977.49 * 4.91) m.$$

$$H_{neta_prom} = 977.41 m.$$

$$H_{Bruta} = Cota_{Rebose_pulmón} - Cota_{Tg_Chorro} + Nivel_{Pulmon}$$

$$H_{Bruta} = (2872.56 - 1885.39 + (-0.64)) m.$$

$$H_{Bruta} = 986.53 m.$$

$$H_{perdidas} = (H_{Bruta} - H_{neta_prom})$$

$$H_{perdidas} = (986.53 - 977.41) m.$$

$$H_{perdidas} = 9.12 m.$$

Eficiencia de la tubería:

$$\eta_{tuberia} = \frac{H_{neta_prom}}{H_{Bruta}} = \frac{977.41}{986.53} = 0.991$$

$$\eta_{tuberia} = 99.1\%$$

4.2.6 TABLAS Y GRÁFICOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE PÉRDIDA DE CARGA

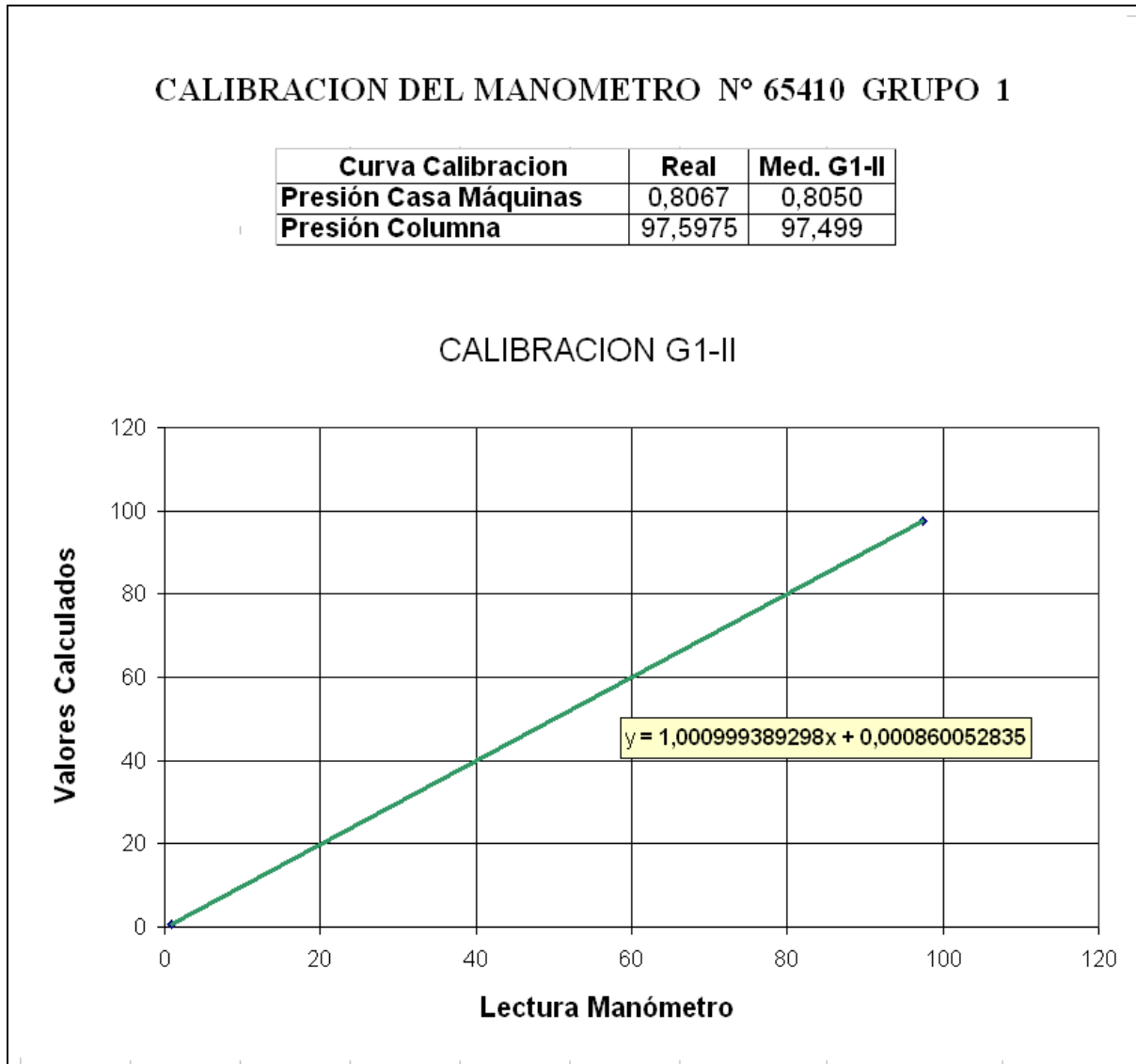
Se obtuvo las siguientes tablas, cuadros y gráficos :

1. Calibración del Manómetro nº 65410 Grupo 1 (Cuadro 4.4)
2. Calibración del Manómetro nº 65410 Grupo 1 (Gráfico 4.8)
3. Calibración del Manómetro nº 65409 Grupo 2 (Cuadro 4.5)
4. Calibración del Manómetro nº 65409 Grupo 2 (Gráfico 4.9)
5. Protocolo de pruebas para evaluar perdidas de carga en la Tubería Forzada. (Tabla de Datos 4.3)
6. Resultados de la prueba de pérdida de carga en la Tubería Forzada (Tabla de resultados 4.4)
7. Perdidas de carga vs. Caudal (Gráfico 4.10)
8. Atura Neta vs. Caudal (Gráfico 4.11)
9. Comparación de pérdidas de carga (Nueva , Limpia, Sucia). (Gráfico 4.12)

Cuadro 4.4

CENTRAL: MATUCANA		Fecha 12/09/2009	
Calibración del Manómetro n° 65410 Grupo 1			
<u>CALIBRACION CON COLUMNA DE AGUA</u> IEC 41, 1991, Chap. 11.4.7.1			
<u>Datos de la Central</u>		Δp_m	
Latitud	ϕ	12,00	deg
Nivel de agua en cámara de carga	Z_{HWW}	2871,560	m
Cota del Manómetro	Z_m	1882,320	m
Altura estática	$Z_{HWW} - Z_m$	989,240	m
Temperatura del agua	T_w	11,00	° C
Aceleración de la gravedad en la cámara de carga	g_{HWW}	9,77393	m/s ²
Aceleración de la gravedad en el manómetro	g_m	9,77689	m/s ²
Aceleración de la gravedad promedio	g_{mean}	9,77541	m/s ²
Presión atmosférica en la cámara de carga	$p_{amb,HWW}$	0,7127	bar
Presión atmosférica en el manómetro	$p_{amb,m}$	0,8067	bar
Densidad del agua en la cámara de carga	ρ_{HWW}	999,62408	kg/m ³
Densidad del agua en el manómetro	ρ_m	1004,15324	kg/m ³
Densidad del agua promedio	ρ_{mean}	1001,88866	kg/m ³
<u>Presión absoluta geodésica</u>			
$P_{abs,g} = p_{amb,HWW} + \rho_{mean} \cdot g_{mean} \cdot (Z_{HWW} - Z_m) \cdot 10^{-5}$		$P_{abs,g}$	97,5975 bar
<u>Presión absoluta en el manómetro</u>			
<u>a) Transductor de presión absoluta Digiquartz</u>			
Presión atmosférica en el manómetro	$p_{amb,m}$	0,8050	bar
Presión absoluta manómetro	$P_{abs,g}$	97,499	bar
<u>b) Correlación</u>			
$P_{abs,real} = 1.000996346807 \cdot P_{lect} + 0.000862502040$			
		$P_{abs,g}$	97,5973 bar

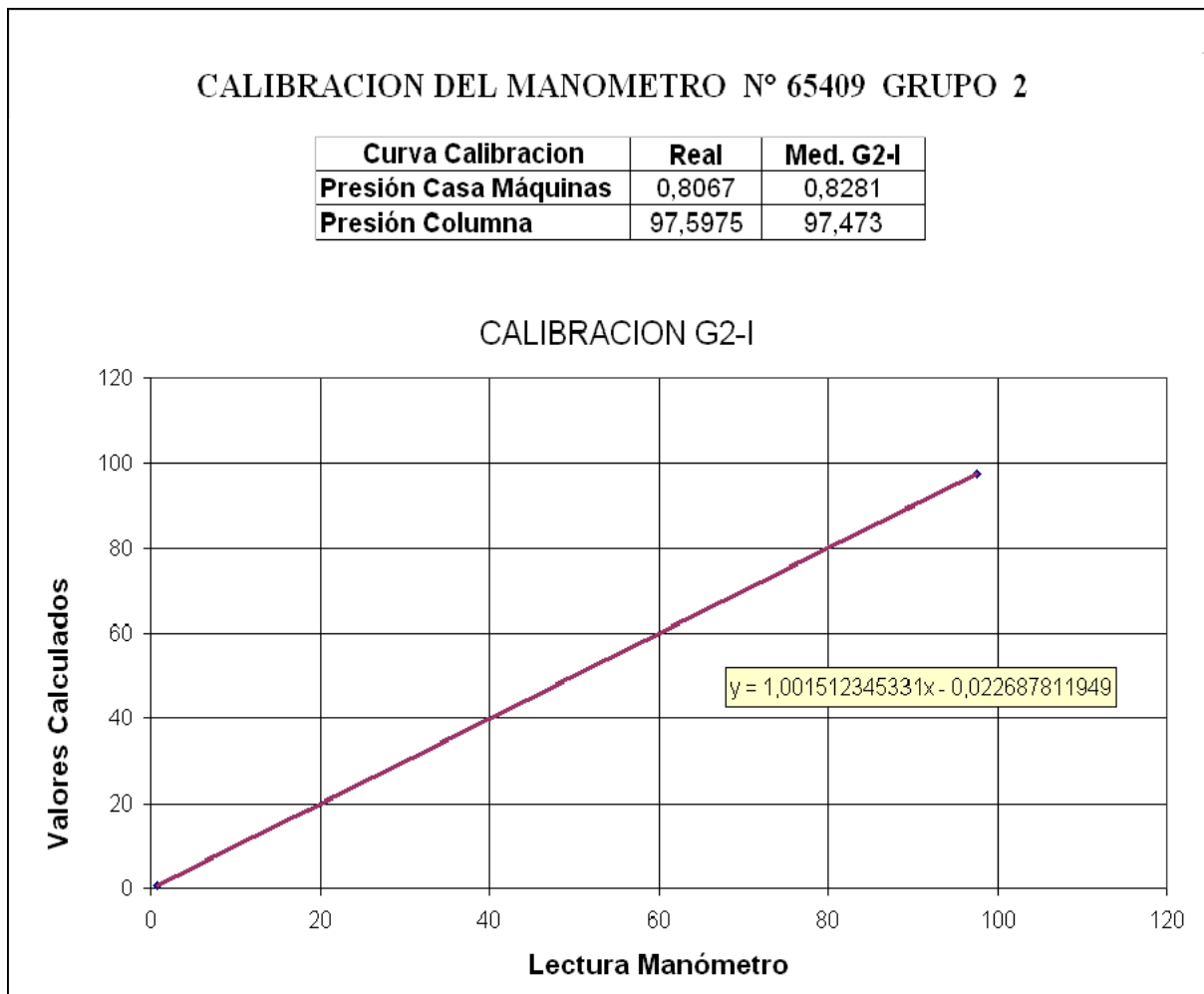
Grafico 4.8




Cuadro 4.5

CENTRAL: MATUCANA		Fecha 12/09/2009	
Calibración del Manómetro n° 65409 Grupo 2			
<u>CALIBRACION CON COLUMNA DE AGUA</u> IEC 41, 1991, Chap. 11.4.7.1			
<u>Datos de la Central</u>		Δp_m	
Latitud	ϕ	12,00	deg
Nivel de agua en cámara de carga	z_{HW}	2871,560	m
Cota del Manómetro	z_m	1882,320	m
Altura estática	$z_{HW} - z_m$	989,240	m
Temperatura del agua	T_w	11,00	° C
Aceleración de la gravedad en la cámara de carga	g_{HW}	9,77393	m/s ²
Aceleración de la gravedad en el manómetro	g_m	9,77689	m/s ²
Aceleración de la gravedad promedio	g_{mean}	9,77541	m/s ²
Presión atmosférica en la cámara de carga	$p_{amb, HW}$	0,7127	bar
Presión atmosférica en el manómetro	$p_{amb, m}$	0,8067	bar
Densidad del agua en la cámara de carga	ρ_{HW}	999,62408	kg/m ³
Densidad del agua en el manómetro	ρ_m	1004,15324	kg/m ³
Densidad del agua promedio	ρ_{mean}	1001,88866	kg/m ³
<u>Presión absoluta geodésica</u>			
$p_{abs, g} = p_{amb, HW} + \rho_{mean} \cdot g_{mean} \cdot (z_{HW} - z_m) \cdot 10^{-5}$		97,5975	bar
<u>Presión absoluta en el manómetro</u>			
<u>a) Transductor de presión absoluta Digiquartz</u>			
Presión atmosférica en el manómetro	$p_{amb, m}$	0,8281	bar
Presión absoluta manómetro	$p_{abs, g}$	97,473	bar
<u>b) Correlación</u>			
$P_{abs, real} = 1.001509301281 \cdot P_{lect} - 0.022685291171$			
		97,5973	bar

Grafico 4.9




EDEL
DPTO. MECANICO Y CIVIL
EQUIPOS HIDROMECANICOS

PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA EVALUAR PERDIDA DE CARGA TUBERIA FORZADA CENTRAL MATUCANA

PARAMETRO	Unid.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HORA		3:50	4:40	5:05	5:25	5:40	6:05				
POTENCIA GRUPO 1 (1)	MW	0,00	0,00	39,96	50,54	59,70	64,31				
POTENCIA GRUPO 2	MW	0,00	61,33	40,55	51,11	60,49	65,20				
POTENCIA CENTRAL	MW	0,00	61,33	80,51	101,65	120,19	129,51				
CAUDAL TUBERIA (2)	m³/s	0,00	7,30	9,74	12,31	14,65	16,25				
PRESION ABSOLUTA G-1 (3)	Bar	97,50	97,11	96,56	95,87	95,03	94,08				
PRESION ABSOLUTA G-2 (4)	Bar	97,47	96,61	96,54	95,82	94,96	94,03				
NIVEL PULMON (5)	m	-1,00	-0,24	-0,64	-1,20	-2,62	-4,80				

CARACTERISTICAS PRINCIPALES :

Altura Bruta :	987,17	m. s. n. m.	Cota Eje de Turbina		1.886,80	m. s. n. m.	Gravedad		9,77541	m/s²
Altura Neta :	966	m. s. n. m.	Cota Instrum. de presión G1 (6)		1.882,32	m. s. n. m.	Densidad del agua		1001,889	Kg/m³
Potencia Nominal Turbina:	86822	CV	Cota Instrum. de presión G2 (6)		1.882,32	m. s. n. m.	Presión atmosférica		0,8067	Bar
Caudal Nominal Turbina :	7,52	m3/s	Cota Piso pasillo de Reguladores		1.882,30	m. s. n. m.	Diam. Int. Tuber. Forzada		723	mm
Potencial Alternador :	80	MVA	Cota de Rebalse en Pulmon		2.872,56	m. s. n. m.	Area Tubería Forzada		0,41	m²
Factor de Potencia Nominal :	0,75	Cos φ	Cota tangencia chorro		1885,39	m. s. n. m.				
Potencia Alternador :	60	MW	Cota de piso Sala Máquinas		1.886,30	m. s. n. m.				

(1) Los valores de Potencia fueron tomados del medidor multifunción Quantum con 0.2 % de precisión.

(2) Caudal medido en Introdutor, con equipo de ultrasonido Panametrics con 2% de precisión, en "simple.traverso".

(3) Presión medida en el Introdutor LOE del G2 con Instrumentos Paroscientific de 0.01% de precisión.

(4) Presión medida en el Introdutor LE del G1 con Instrumentos Paroscientific de 0.01% de precisión.

(5) Cota del espejo de agua en el Pulmón medido con equipo ultrasónico y leído en la sala de mando de la central.


(6) Instrumento de presión ubicado a 2 cm sobre el piso del pasillo de reguladores.

FECHA:

12-sep-09

FIRMAS:

Tabla de Datos 4.3


EDEL
DPTO. MECANICO Y CIVIL
EQUIPOS HIDROMECAHICOS

RESULTADOS PERDIDA DE CARGA TUBERIA FORZADA MATUCANA

Parámetro	Unid.	1	2	3	4	5	6	7	8
Datos registrados									
P _{central}	MW	0,00	61,33	80,51	101,65	120,19	129,51		
Q _{total}	m ³ /s	0,00	7,30	9,74	12,31	14,65	16,25		
P _{G1}	MW	0,00	0,00	39,96	50,54	59,70	64,31		
P _{G2}	MW	0,00	61,33	40,55	51,11	60,49	65,20		
Q _{G1}	m ³ /s	0,00	0,00	4,83	6,12	7,28	8,07		
Q _{G2}	m ³ /s	0,00	7,30	4,91	6,19	7,38	8,18		
P _{abs-g1}	Bar	97,50	97,11	96,56	95,87	95,03	94,08		
P _{abs-g2}	Bar	97,47	96,61	96,54	95,82	94,96	94,03		
Corrección de la presión									
P _{abs-g1} ⁽¹⁾	Bar	97,60	97,21	96,65	95,96	95,13	94,18		
P _{abs-g2} ⁽²⁾	Bar	97,60	96,73	96,66	95,94	95,08	94,15		
Cálculo de la altura Neta (G1)									
P _{abs-g1} -P _{amb}	Bar	96,79	96,40	95,85	95,16	94,32	93,37		
(z ₁ - z ₂) ⁽³⁾	m	-3,07	-3,07	-3,07	-3,07	-3,07	-3,07		
V _m ² /2	kJ/kg	0,00	0,00	17,33	27,79	39,29	48,29		
H _{neto}	m	985,21	981,27	977,34	971,37	964,03	955,25		
Cálculo de la altura Neta (G2)									
P _{abs-g1} -P _{amb}	Bar	96,79	95,93	95,86	95,14	94,28	93,35		
(z ₁ - z ₂) ⁽³⁾	m	-3,07	-3,07	-3,07	-3,07	-3,07	-3,07		
V _m ² /2	J/kg	0,00	39,56	17,85	28,42	40,34	49,63		
H _{neto}	m	985,21	980,45	977,49	971,23	963,65	955,13		
Pérdidas Totales									
H _{bruta}	m	986,17	986,94	986,53	985,97	984,56	982,37		
H _{neto-prom}	m	986,17	980,45	977,41	971,30	963,84	955,19		
H _{netal}	m	0,00	6,49	9,12	14,68	20,72	27,18		
Eficiencia de la tubería									
η _{tubería}	m	100,0%	99,3%	99,1%	98,5%	97,9%	97,2%		

(1) Presión corregida de acuerdo a la calibración del manómetro: P= 1.000996346807*P_{kel}+ 0.000862502040
(2) Presión corregida de acuerdo a la calibración del manómetro: P= 1.001509301281*P_{kel}-0.022685291171
(3) Diferencia de cotas entre el punto de tangencia del chorro y a cota del manómetro.

Tabla de Resultados 4.4

PRUEBA DE EVALUACION DE TUBERIA FORZADA - MATUCANA
PERDIDAS EN LA TUBERIA vs. CAUDAL

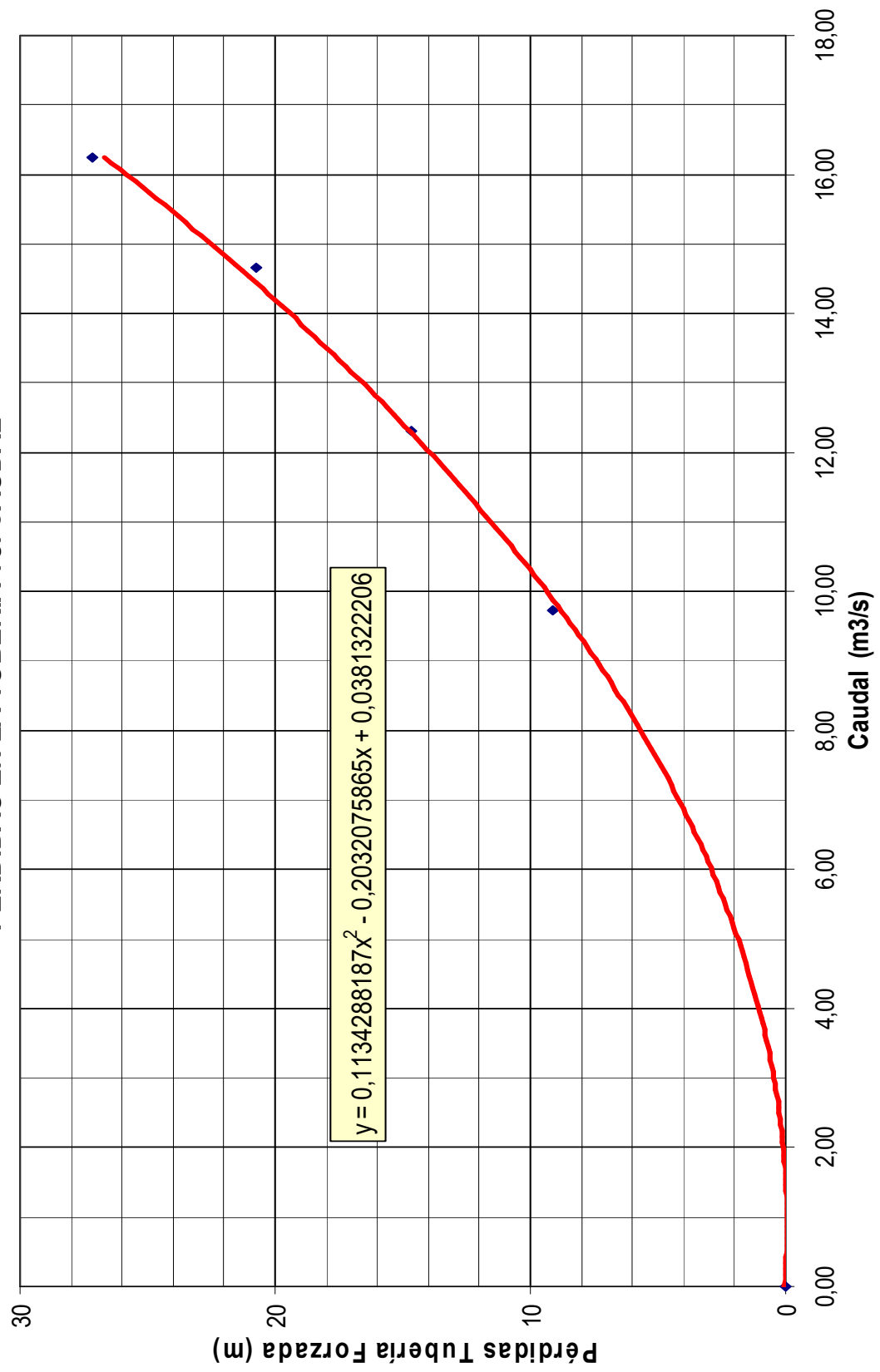


Grafico 4.10

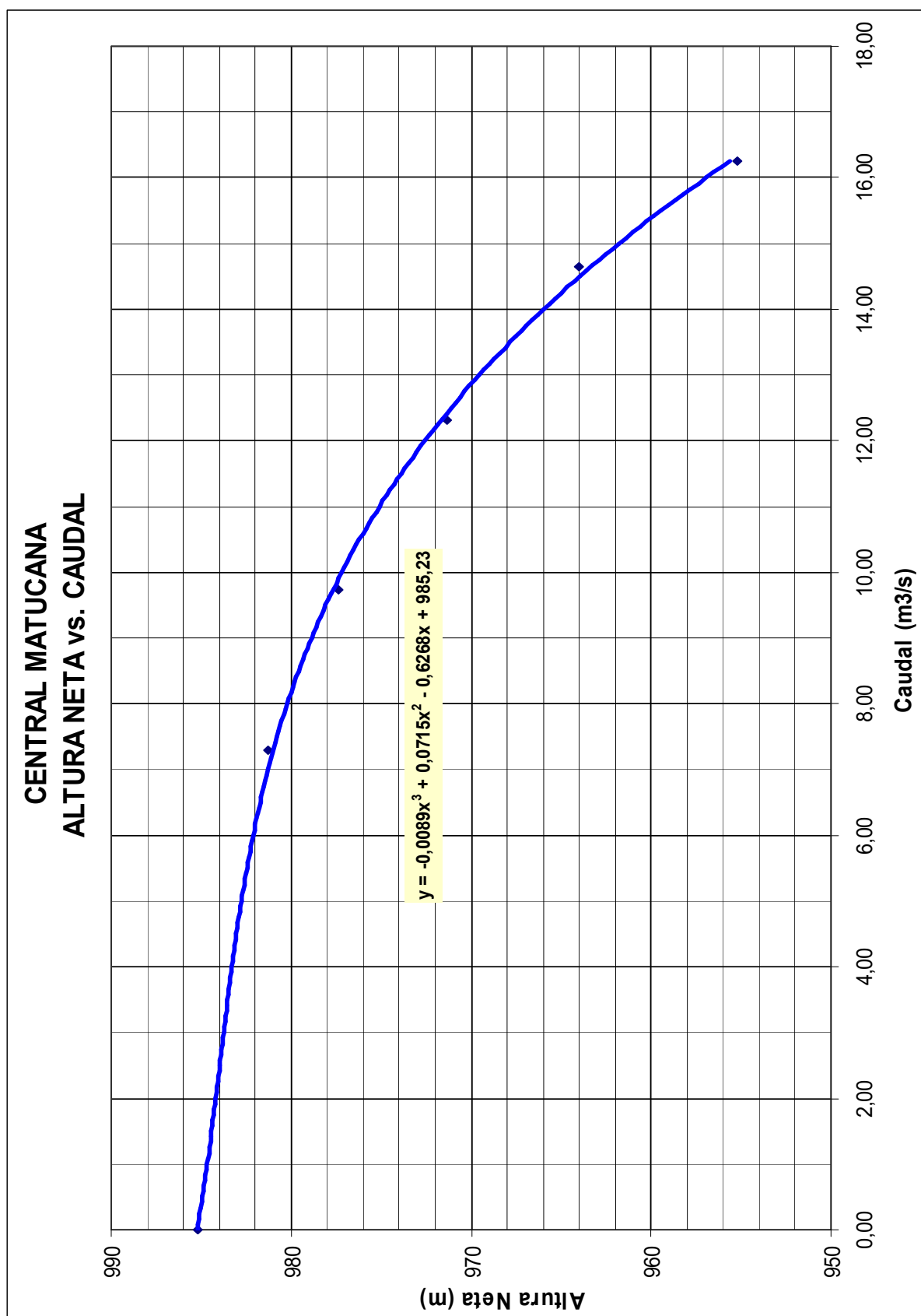


Grafico 4.11

CENTRAL HIDROELECTRICA MATUCANA
CAUDALES vs. PERDIDAS DE CARGA
 Desde V-8 hasta Tub. de Distribucion (G-1)

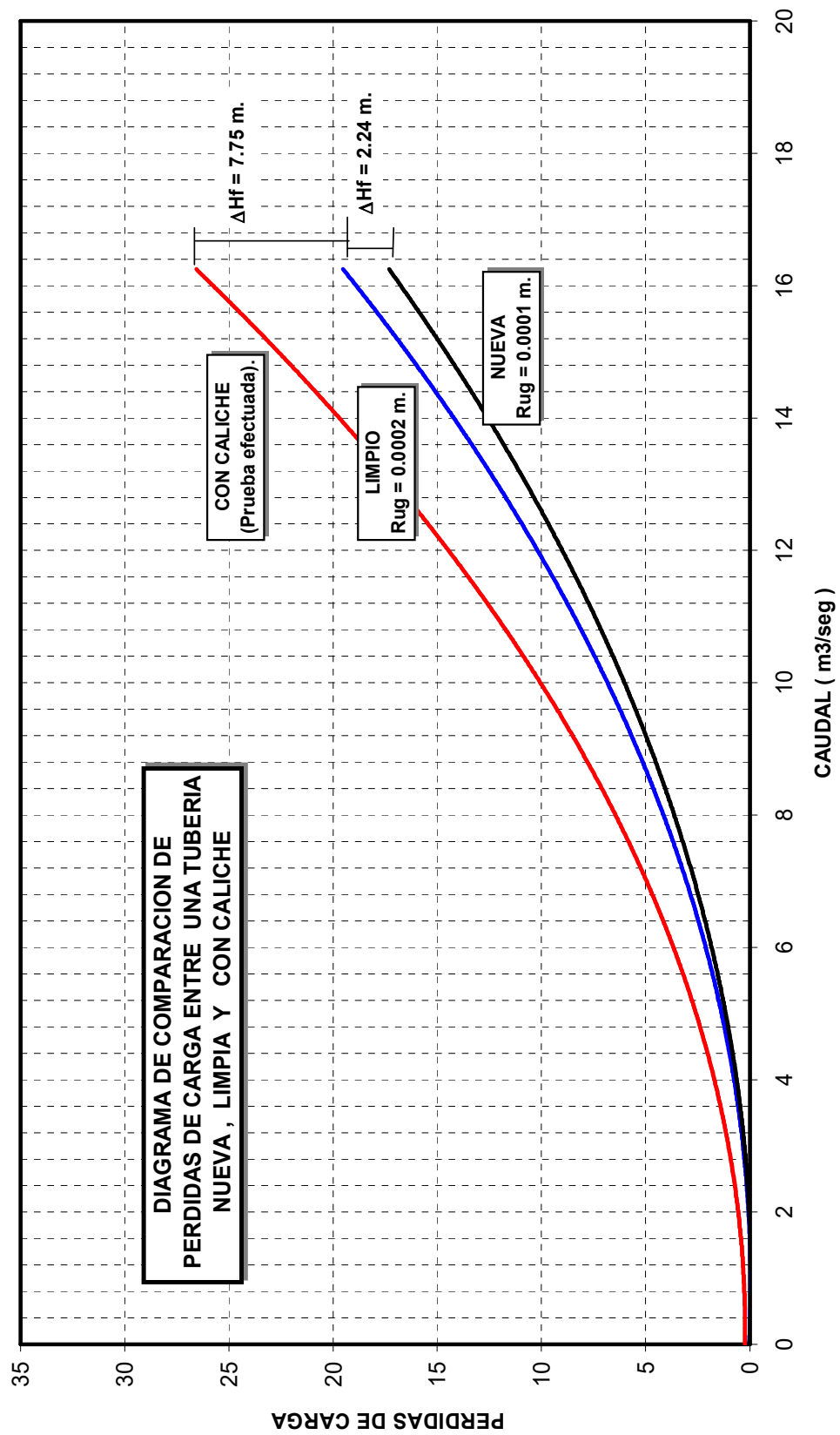


Grafico 4.12

4.2.7.- CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA USANDO FÓRMULAS (MÉTODO TEÓRICO)

CENTRAL HIDROELECTRICA MATUCANA

Las fórmulas que se usan son :

1.-Fórmula de Darcy – Weisbach,

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

2.- Velocidad $V = Q * A$

3.- Número de Reynolds $Re = \frac{V D}{\nu}$

Conociendo el número de Reynolds podemos decir a que régimen pertenece

4.- Coeficiente de fricción – (Colebrook y White)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{2.52}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Para encontrar el valor de f se resuelve por iteraciones.

5.- Para las pérdidas por accesorios (K_i constante de accesorio)

$$h_i = K_i \frac{V_i^2}{2g}$$

Tomamos en cuenta las pérdidas de cada accesorio que tiene la tubería forzada de acuerdo a los valores dados en el capítulo I y en los anexos

6.- Para pérdidas totales son:

$$h_T = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum_1^i K_i \frac{V_i^2}{2g}$$

Encontrando los valores de la fricción en determinadas secciones de la tubería forzada podemos encontrar la perdida de carga total en la central Hidroeléctrica Matucana

Estas fórmulas se usan con los siguientes datos

Caudal = 16.25 m³/seg

- Pérdidas por longitud

TRAMO	VENT (8a -9)	VENT (9-10)	VENT (10 -11)	VENT (11 -12)	VENT (12 -C.M.)	TOTAL
Longitud	330,88	381.32	398.27	629.48	84,83	1824,78
Diam Dt (m)	2,2	2,1	1,95	1,9	1,85	
Espesor de caliche	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	
Diametro interno real	2.198	2.098	1.948	1.898	1.849	
Pendiente %	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9	
Area A (m)	3.794	3.457	2.980	2.829	2.682	
Velocidad	4.28	4.70	5.45	5.74	6.06	
Rugosidad e (m)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
e/Dt	0.0009	0.0010	0.0010	0.0016	0.0016	

Reynolds

Número de Reynolds	9.05*10 ⁶	9.48*10 ⁶	1.02*10 ⁷	1.05*10 ⁷	1.08*10 ⁷
--------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Usando:

La fórmula de Coeficiente de fricción – (Colebrook y White)

Factor de fricción	0.0192	0.0194	0.0197	0.0221	0.0222
--------------------	--------	--------	--------	--------	--------

La fórmula de Darcy – Weisbach

						TOTAL
Pérdidas primarias (m)	2.705	3.975	6.109	12.336	1.908	27.033

- . Pérdidas por accesorios

Conos	VENT (9-10)	VENT (10 -11)	VENT (11 -12)	TOTAL
Longitud (m.)	29,12	21,32	21,05	12,29
Diámetro (m.)	(2.20 - 2.10)	(2.10 – 2.00)	(2.00 - 1.90)	(1.90 - 1.80)
Ángulos °	0,20	0,28	0,28	0,48
Const. Perd . k	0,000124	0,000182	0,00019	0,000343
Pérdidas Sec.. (m.).	0,0000079	0,0000141	0,0000180	0,0000401
				0,0000802

Codo	VENT (11 -12)	VENT (12 –C.M.)	TOTAL
Angulos °	44,40	44,40	24,23
Const. Perd . k	0.2200	0.2200	0,0800
Pérdidas Sec..	0.02803	0.02803	0.01168
			0.0677

Accesorio	Válvula
Angulo °	5
Const. Perd k	0.05
Perdidas sec. (m)	0.000165

La pérdida de carga total en la Central Matucana es = 27.10 m.

La caída bruta es 1292.6m

Como tubería sucia se toma la rugosidad 0.002 en la tubería con mayor pendiente y en la parte con menor pendiente se toma 0.003 , el espesor de caliche varia en diferentes secciones de la tubería, los cálculos de tomas desde la ventana 8 hasta antes la tubería de distribución

Lo que representa el 2.74 % de la caída bruta

Pérdidas en la Tubería Forzada Central Matucana para diferentes caudales

Caudal	Nueva Rug = 0.0001	Limpia Rug = 0.0002	Prueba realizada
0.00	0.00	0.00	0.00
7.30	2.975	3.45	6.49
9.74	5.712	6.46	9.12
12.31	9.545	10.78	14.68
14.65	13.577	15.33	20.72
16.25	17.508	19.75	27.18

4.2.8 ALTERNATIVAS DEL MANTENIMIENTO DE LAS TUBERÍAS FORZADAS

Sobre las alternativas del mantenimiento de las Tuberías Forzadas se puede afirmar :

Que el mantenimiento en este caso es sumamente caro comparado con Huinco y es muy inaccesible ya que toda la tubería está enterrada, para lo cual la única alternativa es solamente limpiar las tuberías de distribución, pero por lo pronto la pérdida de carga actual en relación con tubería limpia es todavía aceptable.

CENTRAL MATUCANA

PROGRAMA PARA HALLAR LAS PERDIDAS DE CARGA POR EFECTO DE LA FRICCION EN LAS TUBERIAS FORZADAS

(PROGRAMA EN VISUAL BASIC)

Programa en Visual Basic ... Rafael Torre.....10-09-2011

CENTRAL HIDROELECTRICA MATUCANA

CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERIAS FORZADAS

CARACTERISTICAS DE LA TUBERIA FORZADA

Caudal (m3/seg)

Longitud (m) Diametro (m)

Espesor Caliche (m) Rugosidad (m)

RESULTADOS

Area (m2)

Velocidad (m/s) Numero de Reynolds

Tipo de flujo

Formula de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} + \frac{e/D}{3.71} \right]$$

$x = y$

Usando calculos iterativos

Valor de f Inicial

Coficiente de fricción (f)

Hallando la perdida de carga por fricción no incluye las perdidas por accesorios

Pérdida de carga (m)

Prueba

x =

y =

Su diagrama de flujoAnexo 5a (pág. 182)

El código del programa en lenguaje Visual BasicAnexo 5b (pág.183)

CAPITULO 5

EVALUACION ECONOMICA

En esta capítulo se establece las premisas y el modelo de evaluación utilizados en la evaluación económica para la propuesta presentada por CARUSO para la Central Huinco

5.1 PREMISAS

Dentro de las premisas tenemos lo que es el precio.

Tipo	Costo Mw / hora \$	n° horas	Costo*día \$
Hora punta	40	5	200
Hora	20	19	380
Costo total por día			\$ 580

Se tiene un factor de carga de 0.45

5.2 BENEFICIOS POR ENERGÍA Y POTENCIA

Dentro de los beneficios consideramos el beneficio anual, la cual es debido al incremento de potencia (ΔMW) después del trabajo de limpieza y pintado

$$\Delta MW_{recuper} = \left[\frac{Hneta_{actual} + Hf_{recuperada}}{Hneta_{actual}} - 1 \right] * [MW_{actual}]$$

H neta actual = 1202 m.

Si tomamos como dato la alternativa 5

$Hf_{recuperada} = 13.22$ m.

Actualmente la demanda de energía eléctrica es de 250 MW

Donde se obtiene un incremento de energía $\Delta MW = 2.75$ MW

De igual modo se desarrolla para las demás alternativas en el cuadro siguiente:

Alternativas	Descripción	H _f Recup. (m)	Δ□MW
I	TFI	2.51	0.52
II	GIB	8.35	1.74
III	TFI – GIB	10.86	2.26
IV	TD	2.36	0.49
V	TFI – GIB - TD	13.22	2.75

BENEFICIO ANUAL

Está dado por la siguiente fórmula :

$$\text{Beneficio Anual} = \Delta \text{MW} * (\text{C}_{\text{mg-p}} * 5 + \text{C}_{\text{mg-fp}} * 19) * 365 * \text{Fact_carga}$$

Como datos tenemos:

Factor de carga = 0.45

C_{mg-p} = Costo por energía Mw /hora en hora punta = \$ 40

C_{mg-f p} = Costo por energía Mw/hora en hora fuera punta = \$ 20

Siendo (C_{mg-f p}) y (C_{mg- p}) datos de la premisa

Si consideramos la alternativa 5

Con el incremento de energía ΔMW = 2.75 MW

Obtenemos un beneficio anual de **\$ 261,939.12 por año**

Alternativas	Descripción	Δ MW	Beneficio Anual (\$)
I	TFI	0.52	49,731
II	GIB	1.74	165,446
III	TFI - GIB	2.26	215,178
IV	TD	0.49	46,761
V	TFI – GIB - TD	2.75	261,939

5.3 COSTO DE INVERSIÓN POR MANTENIMIENTO

El costo de inversión esta dado por el monto que se debe pagar por trabajo de limpieza y pintado presentado por la empresa CARUSSO, con la propuesta evaluada.

Pero para cada alternativa se tiene una inversión, dado el cuadro

Alternativas	Descripción	Δ MW	Costos directos (\$)
I	TFI	0.56	435,871
II	GIB	1.74	1'103,703
III	TFI - GIB	2.25	1'539,574
IV	TD	0.49	69,306
V	TFI – GIB - TD	2.75	1'608,881

Según las alternativas evaluadas las inversiones son sin el IGV del 18%

Considerando los costos de ingeniería (3%), el costo por supervisión (2%), y gastos administrativos de (5%) lo cual representa un total de 10% de incremento respecto a los costos directos, + el IGV 18% lo cual nos da una inversión total representada en el cuadro :

Alternativas	Descripción	Costos Indirectos (\$)	Inversión Total
I	TFI	43,5871	565,761
II	GIB	110,370	1'432,607
III	TFI – GIB	153,957	1'998,367
IV	TD	6,931	89,969
V	TFI – GIB - TD	160,888.	2'088,327

5.4 LUCRO CESANTE

Con respecto al lucro cesante se tiene

$$\text{Lucro Cesante} = M_{\text{Wind}} * (C_{\text{mg-p}} * 5 + C_{\text{mg-fp}} * 19) * n^{\circ} \text{días} * \text{Fact}_{\text{carga}}$$

Siendo:

$n^{\circ} \text{días}$ = Número de días de trabajo

M_{Wind} = Energía sin producir durante los trabajos del proyecto

Alternativas	Días de trabajo	Lucro Cesante
I	56	3'654,000
II	118	7'699,500
III	174	11'353,500
IV	15	978,750
V	189	12'332,250

5.5 .- MÉTODOS DE ANÁLISIS ECONÓMICOS

El análisis económico del proyecto sobre el mantenimiento de las tuberías forzadas , se realiza para orientar la toma de decisión en torno a la ejecución del proyecto de ejecutarlo o no , Puesto que la generación de energía es muy importante para el desarrollo y para elevar el nivel de vida de la población ..

Económicamente este proyecto es una fuente de costos y beneficios que ocurren en diferentes periodos de tiempo.

El reto de alguien que toma decisiones en torno de ejecutar o no el determinado proyecto es identificar los costos y beneficios atribuidos al mismo y medirlos (valorarlos) con el objetivo de señalar si es conveniente o no su ejecución, a esto se le llama evaluación económica .

Esta evaluación se realiza utilizando el método beneficio / costo, para lo cual se requiere definir cuáles son los costos, los beneficios y cuantificarlos con la mayor precisión posible.

a.- Método del análisis beneficio/ costo

Consiste en comparar todos los beneficios, los costos en los que se incurrirá a lo largo de la vida del proyecto. La única regla que debe tener en cuenta si los beneficios son mayores que los costos.

Debido a que estos costos y beneficios ocurren en años diferentes, para poder compararlos a una misma tasa de descuento (o interés) y a un año que normalmente es el año del proyecto.

Una vez actualizados los beneficios y los costos, la evaluación se realizara determinando tres indicadores, el valor anual neto (VAN), la relación Beneficio – Costo (B/C) , y la tasa interna de retorno (TIR)

- **Valor actual neto (VAN)**

Es la diferencia de la suma total de los beneficios actualizados, menos la suma total de los costos actualizados a una misma tasa de descuento i.

La regla de decisión señala que el proyecto será rentable si el valor actual de flujo de beneficios netos que genera es positivo, descontando estos flujos a la tasa de descuento (o interés) pertinente para la empresa a ejecutar el proyecto.

Valor	Significado	Decisión a tomar
$VAN > 0$	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto puede aceptarse
$VAN < 0$	La inversión produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto debería rechazarse
$VAN = 0$	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida (r), la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

El valor actual neto es muy importante para la valoración de inversiones en activos fijos, a pesar de sus limitaciones en considerar circunstancias imprevistas o excepcionales de mercado. Si su valor es mayor a cero, el proyecto es rentable, considerándose el valor mínimo de rendimiento para la inversión.

Una empresa suele comparar diferentes alternativas para comprobar si un proyecto le conviene o no. Normalmente la alternativa con el VAN más alto suele ser la mejor para la entidad; pero no siempre tiene que ser así. Hay ocasiones en las que una empresa elige un proyecto con un VAN más bajo debido a diversas razones como podrían ser la imagen que le aportará a la empresa, por motivos estratégicos u otros motivos que en ese momento interesen a dicha entidad.

Puede considerarse también la interpretación del VAN, en función de la Creación de Valor para la Empresa:

- Si el VAN de un proyecto es Positivo, el proyecto Crea Valor.
- Si el VAN de un proyecto es Negativo, el proyecto Destruye Valor.
- Si el VAN de un proyecto es Cero, el Proyecto No Crea ni Destruye Valor.

- **Tasa interna de retorno (TIR)**

Es la tasa de descuento (o interés) que hace que la suma de todos los beneficios sea igual a la suma de todos los costos, actualizados a esa tasa de descuento .Se deduce que los si los costos son iguales a los beneficios el proyecto solo cubrirá sus costos y no dejara ninguna utilidad monetaria .

Si $B=C$

- En este caso el VAN es igual a cero ($VAN = 0$)
- B/C es igual a 1

La regla de decisión señala que es conveniente realizar el proyecto cuando la tasa de descuento (o interés) es menor que la tasa interna de retorno. ($i < TIR$)

La TIR se calcula iterativamente es decir una y otra vez, probando con diversas tasas de interés.

- **Pay-back nominal**

El Pay-back, también denominado plazo de recuperación, es uno de los llamados métodos de selección estáticos. Se trata de una técnica que tienen las empresas para hacerse una idea aproximada del tiempo que tardarán en recuperar el desembolso inicial en una inversión.

Esta herramienta es útil para la decisión de aceptar sólo los proyectos e inversiones que devuelvan dicho desembolso inicial en el plazo de tiempo que se estime adecuado.

b.- Datos para la evaluación del proyecto

Para la evaluación económica resulta muy importante la identificación de los costos y beneficios, y en qué año se efectúa cada uno de ellos.

- Datos de la evaluación económica

Costos

Los costos se subdividen en dos grupos

Costo de inversión

a) Activo fijo

Obras civiles

- Tubería forzadas
- Cimentación de las tuberías forzadas
- Otros

b) Activo intangible

- Asesoría técnica y supervisión
- Intereses durante la ejecución
- Gastos generales

c) Capital de trabajo

Costos de operación y mantenimiento

a) Gastos de operación

- Gastos de personal lubricantes y grasas
- Equipo e implementación de e personal
- Otros.

b) Gastos de mantenimiento

- Materiales y repuestos
- Herramientas
- Otros .

Beneficios

Se consideran dos ítems: ingresos por ventas de energía después de ejecutar la alternativa adecuada y valor residual

- Ingreso por ventas de energía

Es un ingreso anual que se produce desde la entrada en servicio después de haber ejecutado el proyecto del mantenimiento de las tuberías forzadas hasta el fin de la vida útil.

determina a partir de la energía que se venderá cada año, según lo previsto en el estudio de mercado y de una tarifa por Kwh
:

- Valor residual

Es el valor de los bienes en el último año de la vida útil del proyecto.

Para calcular este valor se debe tener en cuenta la depreciación o pérdida de valor de bienes durante su uso en el proyecto, la cual se determina teniendo en cuenta el criterio de tiempo de vida útil,

Forma de depreciación

Una forma adecuada de depreciación es considerar que el bien pierda su valor anualmente de manera uniforme, desde su valor inicial en su año de finalización del proyecto, hasta cero en el último año de su vida

5.6 CUADRO DE FLUJO DE CAJA

En estos cuadros de flujo de caja veremos cuál es la alternativa más óptima para la ejecución del proyecto del mantenimiento de las tuberías forzadas de Huinco

- Ingresos
 - Venta de energía
 - Valor residual
- Egresos
 - Inversión
 - Costo de operación y mantenimiento

A continuación se presentan los cuadros de flujo de caja de las alternativas para la ejecución del proyecto

Tabla de valores de Resultados

ALTERNATIVAS	TRAMOS	ARENIADO Y PINTADO	EQUIPO ESPECIAL	INVERSION		INVERSION TOTAL SIN IGV	INVERSION TOTAL CON IGV
				COSTOS DIRECTOS	COSTOS INDIRECTOS		
I	TFI	283.604,76	152.267	435.871	43.587	479.458	565.761
II	GIB	782.865,57	320.848	1'103.703	110.370	1'214.073	1.432.607
III	TFI - GBI	1.066.470,33	473.114	1'539.574	153.957	1'693.531	1.998.368
IV	TD	28.520,46	40.786	69.306	6.931	76.236	89.959
V	TFI - GIB - TD	1.094.990,80	513.900	1'608.880	160.888	1'769.768	2.088.327

ALTERNATIVAS	DIAS DE EJECUCION	ALTURA RECUPERADA	MW FINAL	ΔMW	BENEFICIO ANUAL	INVERSION TOTAL	LUCRO CESANTE
I	56	2,51	250,52	0,52	49.733	565.761	3'654,000
II	118	8,35	251,74	1,74	165.446	1.432.607	7'699,500
III	174	10,86	252,26	2,26	215.178	1.998.368	11'353,500
IV	15	2,36	250,49	0,49	46.761	89.959	978,750
V	189	13,22	252,75	2,75	261.939	2.088.327	12'332,250

CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

ALTERNATIVA I (LIMPIEZA TUBERIA A LA INTEMPERIE)

FLUJO DE CAJA

Inversión \$ 565.760

Lucro Cesante \$ 3.654.000

Flujo Económico

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	78
Ingresos			49.733	49.733	49.733	49.733	49.733	49.733	49.733	49.733	49.733	2.090
Egresos	0	3.654.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49.733
Flujo	0	-3.654.000	49.733	49.733	49.733	49.733	49.733	49.733	49.733	49.733	49.733	49.733
Depreciación Tributaria			17.144	17.144	17.144	17.144	17.144	17.144	17.144	17.144	17.144	17.144
Flujo A. de Impuestos			32.589	32.589	32.589	32.589	32.589	32.589	32.589	32.589	32.589	32.589
Participación trabajadores (5%)			1.629	1.629	1.629	1.629	1.629	1.629	1.629	1.629	1.629	1.629
Impuestos (30%)			9.288	9.288	9.288	9.288	9.288	9.288	9.288	9.288	9.288	9.288
Flujo Neto	0	-2.429.910	21.671	21.671	21.671	21.671	21.671	21.671	21.671	21.671	21.671	21.671
Efecto Edegel			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Más Depreciación Tributaria			17.144	17.144	17.144	17.144	17.144	17.144	17.144	17.144	17.144	17.144
Inversión	-282.880	-282.880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
Flujo de Caja	-282.880	-2.712.790	38.816	38.816	38.816	38.816	38.816	38.816	38.816	38.816	38.816	38.860
Pay Back Nominal	-282.880	-2.995.670	-2.956.854	-2.918.039	-2.879.223	-2.840.408	-2.801.592	-2.762.776	-2.723.961	-2.685.145	-2.646.329	32.938

TIR Económico Real	0,0277%
VAN (al 21.09.2010 descontado al 12%)	32.938
PAY BACK NOMINAL	Año 78

Flujo de Caja - Alternativa I

CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

ALTERNATIVA II (GIB) (LIMPIEZA TUBERIA INCLINADA BLINDADA)

FLUJO DE CAJA

Inversión \$ 1.432.606

Lucro Cesante \$ 7.699.500

Flujo Económico

	Año										
	2011	2012	1	2	3	4	5	6	7	8	53
			2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2065
Ingresos			165.446	165.446	165.446	165.446	165.446	165.446	165.446	165.446	165.446
Egresos	0	7.699.500	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Flujo	0	-7.699.500	165.446	165.446	165.446	165.446	165.446	165.446	165.446	165.446	165.446
Depreciación Tributaria			43.412	43.412	43.412	43.412	43.412	43.412	43.412	43.412	43.412
Flujo A. de Impuestos			122.033	122.033	122.033	122.033	122.033	122.033	122.033	122.033	122.033
Participación trabajadores (5%)			6.102	6.102	6.102	6.102	6.102	6.102	6.102	6.102	6.102
Impuestos (30%)			34.780	34.780	34.780	34.780	34.780	34.780	34.780	34.780	34.780
Flujo Neto	0	-5.120.168	81.152	81.152	81.152	81.152	81.152	81.152	81.152	81.152	81.152
Efecto Edegel			0	0	0	0	0	0	0	0	-
Más Depreciación Tributaria			43.412	43.412	43.412	43.412	43.412	43.412	43.412	43.412	43.412
Inversión	-716.303	-716.303	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Flujo de Caja	-716.303	-5.836.471	124.564	124.564	124.564	124.564	124.564	124.564	124.564	124.564	124.583
Pay Back Nominal	-716.303	-6.552.774	-6.428.209	-6.303.645	-6.179.080	-6.054.516	-5.929.951	-5.805.387	-5.680.822	-5.556.258	49.334

TIR Económico Real	0,4670%
VAN (al 21.09.2010 descontado al 12%)	319.179
PAY BACK NOMINAL	Año 53

Flujo de Caja - Alternativa II

CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

ALTERNATIVA III (TFI + GIB) (LIMPIEZA A LA INTEMPERIE + TUBERIA INCLINADA BLINDADA)

FLUJO DE CAJA

Inversión \$ 1.998.367

Lucro Cesante \$ 11.353.500

Flujo Económico

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	59
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2071
Ingresos	215.178	215.178	215.178	215.178	215.178	215.178	215.178	215.178	215.178
Egresos	0	11.353.500	0	0	0	0	0	0	0
Flujo	0	-11.353.500	215.178	215.178	215.178	215.178	215.178	215.178	215.178
Depreciación Tributaria	60.557	60.557	60.557	60.557	60.557	60.557	60.557	60.557	60.557
Flujo A. de Impuestos	154.621	154.621	154.621	154.621	154.621	154.621	154.621	154.621	154.621
Participación trabajadores (5%)	7.731	7.731	7.731	7.731	7.731	7.731	7.731	7.731	7.731
Impuestos (30%)	44.067	44.067	44.067	44.067	44.067	44.067	44.067	44.067	44.067
Flujo Neto	0	-7.550.078	102.823	102.823	102.823	102.823	102.823	102.823	102.823
Efecto Edegel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Más Depreciación Tributaria	60.557	60.557	60.557	60.557	60.557	60.557	60.557	60.557	60.557
Inversión	-999.184	-999.184	0	0	0	0	0	0	25
Flujo de Caja	-999.184	-8.549.261	163.380	163.380	163.380	163.380	163.380	163.380	163.405
Pay Back Nominal	-999.184	-9.548.445	-9.221.885	-8.894.925	-8.731.545	-8.588.166	-8.404.786	-8.241.406	91.290

TIR Económico Real	0,4090%
VAN (al 21.09.2010 descontado al 12%)	360.617
PAY BACK NOMINAL	Año 59

CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

(LIMPIEZA TUBERIA DE DISTRIBUCION)

ALTERNATIVA IV (TD)

FLUJO DE CAJA

Inversión \$ 89.959

Lucro Cesante \$ 978.750

Flujo Económico

Año	1	2	3	4	5	6	7	8		
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ingresos			46.761	46.761	46.761	46.761	46.761	46.761	46.761	46.761
Egresos	0	978.750	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo	0	-978.750	46.761	46.761	46.761	46.761	46.761	46.761	46.761	46.761
Depreciación Tributaria			2.726	2.726	2.726	2.726	2.726	2.726	2.726	2.726
Flujo A. de Impuestos			44.035	44.035	44.035	44.035	44.035	44.035	44.035	44.035
Participación trabajadores (5%)			2.202	2.202	2.202	2.202	2.202	2.202	2.202	2.202
Impuestos (30%)			12.550	12.550	12.550	12.550	12.550	12.550	12.550	12.550
Flujo Neto	0	-650.869	29.283	29.283	29.283	29.283	29.283	29.283	29.283	29.283
Efecto Edogel			0	0	0	0	0	0	0	0
Más Depreciación Tributaria			2.726	2.726	2.726	2.726	2.726	2.726	2.726	2.726
Inversión	-44.980	-44.980	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de Caja	-44.980	-695.848	32.009	32.009	32.009	32.009	32.009	32.009	32.009	32.009
Pay Back Nominal	-44.980	-740.828	-708.819	-676.810	-644.801	-612.791	-580.782	-548.773	-516.764	-484.755
				</						

TIR Económico Real	0,8072%
VAN (al 21.09.2010 descontado al 12%)	204.189
PAY BACK NOMINAL	Año 24

Flujo de Caja - Alternativa IV

CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO

ALTERNATIVA V (TFI + GIB + TD) (LIMPIEZA TUBERIA INTEMPERIE + GALERIA BLINDADA + TUB. DE DISTRIBUCION)

FLUJO DE CAJA

Inversión \$ 2.088.327

Lucro Cesante \$ 12.332.250

Flujo Económico

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	53
Ingresos			261.939	261.939	261.939	261.939	261.939	261.939	261.939	261.939	2065
Egresos	0	12.332.250	0	0	0	0	0	0	0	0	261.939
Flujo	0	-12.332.250	261.939	261.939	261.939	261.939	261.939	261.939	261.939	261.939	261.939
Depreciación Tributaria			63.283	63.283	63.283	63.283	63.283	63.283	63.283	63.283	63.283
Flujo A. de Impuestos			198.656	198.656	198.656	198.656	198.656	198.656	198.656	198.656	198.656
Participación trabajadores (5%)			9.933	9.933	9.933	9.933	9.933	9.933	9.933	9.933	9.933
Impuestos (30%)			56.617	56.617	56.617	56.617	56.617	56.617	56.617	56.617	56.617
Flujo Neto	0	-8.200.946	132.107	132.107	132.107	132.107	132.107	132.107	132.107	132.107	132.107
Efecto Edegel			0	0	0	0	0	0	0	0	0
Más Depreciación Tributaria			63.283	63.283	63.283	63.283	63.283	63.283	63.283	63.283	63.283
Inversión	-1.044.164	-1.044.164	0	0	0	0	0	0	0	0	19
Flujo de Caja	-1.044.164	-9.245.110	195.389	195.389	195.389	195.389	195.389	195.389	195.389	195.389	195.408
Pay Back Nominal	-1.044.164	-10.289.273	-10.093.884	-9.898.495	-9.703.106	-9.507.716	-9.312.327	-9.116.938	-8.921.549	-8.726.160	66.544

TIR Económico Real	0,4291%
VAN (al 21.09.2010 descontado al 12%)	580.071
PAY BACK NOMINAL	Año 53

Flujo de Caja - Alternativa V

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones que se puede obtener es el siguiente :

HUINCO

1.-La perdida de carga es 34.9 m lo cual es alto e influye económicamente en su mantenimiento, ya que la inversión para el mantenimiento en forma total no sería una buena inversión, porque al efectuar los trabajos la Central tendría que parar durante 6 meses y medio (210 días) lo cual sería una gran pérdida en lo económico para la empresa.

Otra alternativa seria el mantenimiento de las tuberías forzadas, pero por tramos en diferentes etapas, en este caso es aprovechar los tiempos de avenida.

Las alternativas por tramos son:

Alternativa	Dias de Trabajo	Inversión Aproximada	TIR	VAN	Pay Back Nominal
I	56	656,760	0.28 %	-217.22	Año 78
II	118	1'432,606	0.467 %	319.18	Año 53
III	174	1'998,367	0.409 %	360.62	Año 59
IV	15	89,959	0.807 %	204.19	Año 24
V	189	2'088,327	0.429 %	580.10	Año 53

Si un proyecto de inversión tiene un VAN positivo, el proyecto es rentable entre dos o más proyectos, el más rentable es el que tenga un VAN más alto.

En este caso tenemos las alternativas II , III, IV, V que son rentables ya que presentan un VAN positivo

La mejor alternativa a realizar es la **alternativa V** tiene el mayor VAN de 580.10 y un TIR de 0.429% , y con esta alternativa se una mayor reducción de pérdida de carga.

Otras conclusiones:

Con respecto a los cálculos de pérdida de carga usando los métodos de evaluación tanto en forma experimental y en forma teórica con la ayuda de los planos de las tuberías forzadas, es cercana.

MATUCANA

Las pérdidas de carga es pequeña como para realizar el mantenimiento de las tuberías, por lo cual no es muy urgente, dada las inspecciones dadas en el interior de la tubería forzada por lo pronto no es necesario el mantenimiento.

Por lo cual no era necesario efectuar el mantenimiento ya que la evaluación económica no sería rentable, en estos momentos.

Otras conclusiones

El acceso a las Tubería Forzadas es muy inaccesible por encontrarse enterrada lo cual sería algo sumamente costoso e innecesario por el momento.

6.2 RECOMENDACIONES

- 1.- Evaluar las pérdidas de carga en las diferentes épocas para saber los incrementos que pueden haber
- 2.- Hacer un análisis del agua periódicamente
3. - Extraer muestras de caliche para su análisis y comparar con los anteriores para determinar el incremento y la rugosidad que puede existir.

CAPITULO 7

ANEXOS.

ANEXO 1

TABLA DE MATERIALES CON SUS RESPECTIVAS RUGOSIDADES e

MATERIAL	CONDICION	RUGOSIDAD
Tubería de acero estirada	Nuevas	0.02 – 0.1 (mm.)
	Después de largo uso, limpias	0.15 -0.20 (mm.)
	Moderadamente oxidadas o con ligeras incrustaciones	0.15 – 0.40 (mm.)
	Con fuertes incrustaciones	0.15 – 3.00 (mm.)
Tubería de acero galvanizada	Normalmente galvanizadas	0.15 (mm.)
Tubería de acero soldada	Nueva	0.05 – 0.1 (mm.)
	Usadas, limpiadas	0.15 – 0.20 (mm.)
	Uniformemente oxidadas	0.15 – 0.40 (mm.)
	Con ligeras incrustaciones	1.00 – 1.50 (mm.)
	Con fuerte incrustaciones	2.00 – 4.00 (mm.)
Tubería de acero remachado		0.5 --- 10 (mm.)
Concreto	Sin revestir	0.035 --- 0.040 (m.)
	Revestido	0.025 --- 0.030 (m.)
	Completamente revestido	0.013 – 0.015 (m.)

ANEXO 2

TABLA DE MATERIALES, DIAMETROS Y SUS MULTIPLES USOS

MATERIAL	DIAMETRO	USOS PONDERANTES
Acero Galvanizado	12.5 A 200 mm. 1/2" a 8 "	<ul style="list-style-type: none">• Instalaciones en edificios de agua fría.• Instalaciones Sanitarias
Acero Mannesmann	12.5 A 200 mm. 1/2" a 8 "	<ul style="list-style-type: none">• Líneas de conducción• Líneas De descarga.• Instalaciones Industriales
Acero Soldado	350 a 2,830 mm. 14" a 72 "	<ul style="list-style-type: none">• Líneas de conducción• Líneas De descarga.• Tuberías Forzadas de las Centrales.• Oleoductos
Plancha Ondulada	300 a 1,500 mm. 12" a 60 "	<ul style="list-style-type: none">• Alcantarillado
Plomo	12.5 a 100 mm. 1/2" a 4 "	<ul style="list-style-type: none">• Instalaciones de agua y desagüen edificios.• Instalaciones Industriales
Asbesto - Cemento	50 a 500 mm. 2" a 4 "	<ul style="list-style-type: none">• Líneas de conducción• Redes de distribución• Tubos ventiladores
Concreto Armado	100 a 3,000 mm. 1/2" a 4 "	<ul style="list-style-type: none">• Líneas de conducción• Alcantarillas Sanitarias• Tubos de agua fluvial
Concreto Simple	100 a 600 mm. 4" a 24 "	<ul style="list-style-type: none">• Alcantarillas• Cloacas• Drenajes
Fierro Fundido	50 a 600 mm. 2" a 24 "	<ul style="list-style-type: none">• Líneas de conducción• Conductos forzados de Centrales.• Redes de distribución
Tubos Plástico	12 a 180 mm. 1/2" a 6 "	<ul style="list-style-type: none">• Instalaciones industriales, edificios y otros casos especiales

ANEXO 3

FORMULAS USADAS PARA EL METODO TEORICO

1.-Formula de Darcy – Weisbach,

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

2.- Velocidad

$$V = Q * A$$

3.- Número de Reynolds

$$Re = \frac{V D}{\nu}$$

4.- Coeficiente de fricción – (Colebrook y White)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{2.52}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Para encontrar el valor de f se resuelve por iteraciones.

5.- Para las perdidas por accesorios (K_i constante de accesorio)

$$h_t = K_i \frac{V_i^2}{2g}$$

6.- Para pérdidas totales son:

$$h_T = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum_1^i K_i \frac{V_i^2}{2g}$$

ANEXO 4a

FORMULAS USADAS PARA EL METODO EXPERIMENTAL - HUINCO

Corrección de la Presión Absoluta en el manómetro:

- Presiones " Real " (corregida) de acuerdo a la calibración del manómetro

$$P_{abs'} = (1.0002720601 * P_{abs} - 0.0291086802) \text{ Bar}$$

Cálculo de la altura Neta :

$$P_{amb} = 0.8074 \text{ Bar}$$

- Diferencia medida de cotas del manómetro respecto a la cota del punto de tangencia del chorro

$$Z_1 = \text{Cota del manómetro}$$

$$Z_2 = \text{Cota tangente del chorro}$$

$$Z_1 - Z_2 = -2.40 \text{ m.}$$

$$D_{tub_deriv} = \text{Diámetro de la tubería de derivación (mm)}$$

$$A_{tub_deriv} = \text{Área de la tubería de derivación (m2)}$$

Caudal por grupo

$$Q_{G(n)} = \frac{Pot_{G(n)}}{Pot_{Central}} Q_{Central}$$

Velocidad media

$$V_m^2 = \left[\left(\frac{1}{2} \right) \frac{Q_{G4}}{A_{tub_deriv}} \right]^2$$

H_{neta} = Altura neta

$$H_{neta} = \left(\frac{(P_{abs'} - P_{amb}) * 10^5}{\rho_{agua_prom}} + (Z_1 - Z_2) * g_{prom} + \frac{V_m^2}{2} \right) * \left(\frac{1}{g_{prom}} \right)$$

Pérdidas totales :

Nivel Taza - Limnimetro = 3167.30 m.

Cota tangente de chorro = 1877.42 m.

$$H_{Bruta} = Nivel_{Taza-Limnimetro} - Cota_{Tg_Chorro}$$

Pérdidas en la galería

$$h_{Perd_Total} = (H_{Bruta} - H_{neta})$$

$P_{m-tub-V6}$ = Presión manométrica en la Ventana 6 (Cámara de válvulas)

Cota del manómetro V6 = $Z_{(m-V6)}$

Cota de la válvula mariposa = Z_{tub}

Velocidad media

$$V_m^2 = \left[\left(\frac{1}{2} \right) \frac{Q_{Central}}{A_{tub}} \right]^2$$

H_{neta_V6} = Altura neta_ventana 6

$$H_{neta_V6} = \left(\frac{(P_{m_tub_V6}) * 10^5}{\rho_{agua_V6}} + (Z_{(m-V6)} - Z_{tub}) * g_{prom} + \frac{V_m^2}{2} \right) * \left(\frac{1}{g_{prom}} \right)$$

- Diferencia media de cotas del embalse Sheque y manómetro instalado en la ventana 6

$$Z_{sheque} = Nivel_{Taza-Limnimetro} \quad Z_{V6} = Cota_{válvula\ mariposa}$$

Calculo de las perdidas en la galería:

$$h_{galeria} = ((Z_{sheque} - Z_{V6}) - H_{neta_V6})$$

Calculo de las perdidas en la tubería:

$$h_{tuberia} = (h_{Perd_Total} - h_{galeria})$$

Rendimientos:

$$\eta_{galeria} = 1 - \frac{h_{galeria}}{H_{Bruta}}$$

ANEXO 4b

FORMULAS USADAS PARA EL METODO EXPERIMENTAL - MATUCANA

Caudal por grupo

$$Q_{G(n)} = \frac{Pot_{G(n)}}{Pot_{Central}} Q_{Central}$$

Corrección de la Presión Absoluta en el manómetro:

- Presiones corregida según el manómetro N°65410 (Grupo 1)

$$P_{abs'}_{G(1)} = (1.000996346 * P_{abs}_{G(1)} + 0.000862502) Bar$$

- Presiones corregida según el manómetro N°65409 (Grupo 2)

$$P_{abs'}_{G(2)} = (1.001509301 * P_{abs}_{G(2)} - 0.022685291) Bar$$

Cálculo de altura Neta (G1) :

$$Z_1 = \text{Cota del manómetro} \quad Z_2 = \text{Cota tangente del chorro}$$

$$\text{Velocidad media} \quad V_m^2 = \left[\left(\frac{1}{2} \right) \frac{Q_{G1}}{A_{tub}} \right]^2$$

Altura neta

$$H_{neta} = \left(\frac{(P_{abs'}_{G(1)} - P_{amb}) * 10^5}{\rho_{agua_prom}} + (Z_1 - Z_2) * g_{prom} + \frac{V_m^2}{2} \right) * \left(\frac{1}{g_{prom}} \right)$$

Pérdidas totales :

$$H_{Bruta} = Cota_{Rebose_pulmón} - Cota_{Tg_Chorro} + Nivel_{Pulmon}$$

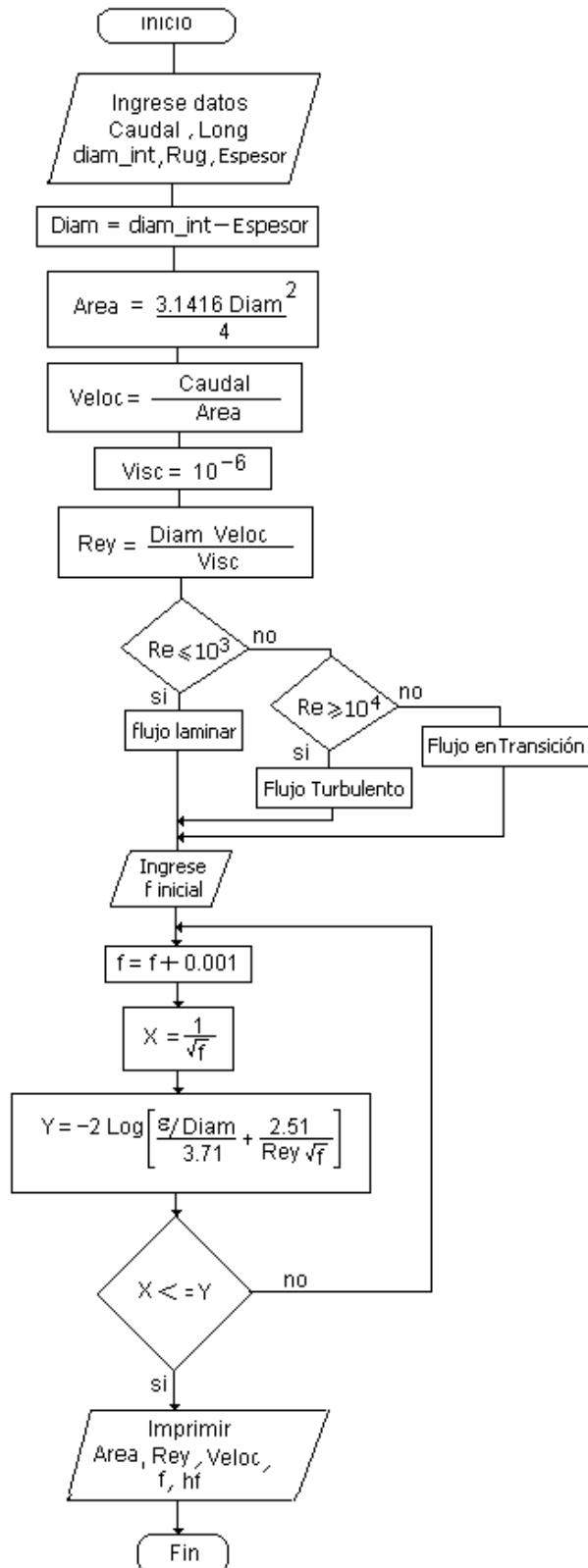
$$H_{perdidas} = (H_{Bruta} - H_{neta_prom})$$

Eficiencia de la tubería

$$\eta_{tuberia} = \frac{H_{neta_prom}}{H_{Bruta}}$$

ANEXO 5a

DIAGRAMA DE FLUJO (FORMULA DE COLEBROOK – WHITE)



ANEXO 5b

PROGRAMA DE FRICCION (Programa en Visual Basic) (FORMULA DE COLEBROOK – WHITE)

Private Sub Command1_Click()

```
    espesor = Val(Text11)
    diam_int = Val(Text3)
    diametro = diam_int - espesor
    area = 3.1416 * diametro * diametro / 4
    Text5 = Format(area, "0.000")
```

End Sub**Private Sub Command2_Click()**

```
    caudal = Val(Text1)
    area = (Text5)
    velocidad = caudal / area
    Text6 = Format(velocidad, "0.00")
```

End Sub**Private Sub Command3_Click()**

```
    diam_int = Val(Text3)
    espesor = Val(Text11)
    velocidad = (Text6)
    diametro = diam_int - espesor
    reynolds = (velocidad * diametro) / 0.000001
    Text7 = Int(reynolds)
```

End Sub**Private Sub Command4_Click()**

```
    reynolds = Int(Text7)
    If reynolds < 3000 Then
        Label11 = "Flujo Laminar"
    ElseIf reynolds >= 3000 And reynolds <= 10000
    Then Label11 = "Flujo de Transición"
    ElseIf reynolds > 10000 Then
        Label11 = "Flujo Turbulento"
    End If
```

End Sub**Private Sub Command5_Click()**

```
    f = Val(Text10)
    diam_int = Val(Text3)
    espesor = Val(Text11)
    rugosidad = Val(Text4)
    diametro = diam_int - espesor
    reynolds = Int(Text7)
    Do
        f = f + 0.00001
        x = 1 / Sqr(f)
        z = rugosidad / diametro
        k = (2.51 * x / (reynolds))
        h = (z / 3.71)
        l = Log(k + h) / Log(10)
        y = -2 * l
```

```
    Loop Until x <= y
```

```
    W = f - 0.00001
    Text8 = Format(W, "0.00000")
```

End Sub**Private Sub Command6_Click()**

```
    w = (Text8)
    diam_int = Val(Text3)
    espesor = Val(Text11)
    velocidad = (Text6)
    diametro = diam_int - espesor
    longitud = Val(Text2)
    Hf = ( w * longitud * velocidad * velocidad / (2 *
    diametro * 9.81))
    Text9 = Format(Hf, "0.0000")
```

End Sub**Private Sub Command7_Click()**

```
    f = Val(Text10)
    x = 1 / Sqr(f)
    Text12 = Format(x, "0.000")
```

End Sub**Private Sub Command8_Click()**

```
    f = Val(Text10)
    diam_int = Val(Text3)
    espesor = Val(Text11)
    rugosidad = Val(Text4)
    diametro = diam_int - espesor
    reynolds = Int(Text7)
    x = 1 / Sqr(f)
    z = rugosidad / diametro
    k = (2.51 * x / (reynolds))
    h = (z / 3.71)
    l = Log(k + h) / Log(10)
    y = -2 * l
    Text13 = Format(y, "0.000")
```

End Sub**Private Sub Label14_Click()**

```
    espesor = (Text11)
```

End Sub**Private Sub Label4_Click()**

```
    caudal = (Text1)
```

End Sub**Private Sub Label5_Click()**

```
    longitud = (Text2)
```

End Sub**Private Sub Label6_Click()**

```
    diam_int = (Text3)
```

End Sub**Private Sub Label7_Click()**


```
    rugosidad = (Text4)
```

End Sub

Nota

Este programa fue desarrollado para poder comparar los diferentes valores de f que se obtuvieron con las diferentes fórmulas

Perdidas de Carga (Ecuaciones de Fricción)..... Ing. Mecánica de Fluidos (UNMSM)



CENTRAL HIDROELECTRICA

CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERIAS FORZADAS

CARACTERISTICAS DE LA TUBERIA FORZADA

C. H.	HUINCO	TUBERIA	A LA INTEMPERIE	TRAMO	P9--FP1
-------	--------	---------	-----------------	-------	---------

Caudal (m3/seg)	25.55	Longitud (m)	8.507
Diametro Int. (m)	2.5	Espesor Caliche (m)	0
		Rugosidad (m)	0.0001

RESULTADOS

Area (m2)

4,909

Velocidad (m/s)

5,205

Numero de Reynolds

13012500

Tipo de flujo

Flujo Turbulento

COMPARACION DE LOS VALORES DE f Y H_f

		Fricción (f)		H_f (m)	
<div style="background-color: #e0e0ff; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Formula de Colebrook-White</div> $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} + \frac{\epsilon/D}{3.71} \right]$	<div style="background-color: #e0ffff; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Usando calculos iterativos</div> <div style="background-color: #ffffe0; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Valor de f Inicial</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">0.01</div>	*	0,01042	*	0,04896
<div style="background-color: #e0e0ff; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Fórmula de Swamee Jain</div> $f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$		*	0,01048	*	0,04924
<div style="background-color: #e0e0ff; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Ecuacion de Churchill</div> $f = 8 \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{(A+B)^{1.5}} \right]^{\frac{1}{12}}$		*	0,01034	*	0,04858

Programa hecho por el Bach.de Ingeniería de Mecánica de Fluidos (RAFAEL TORRE ORTEGA) ***** UNMSM ***** (LIMA-PERU) 2011

ANEXO 6

TABLA DE VALORES DE LA CONSTANTE K PARA ACCESORIOS

- VÁLVULA MARIPOSA

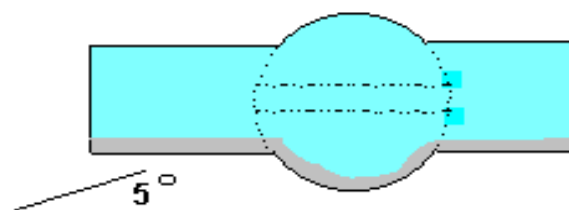
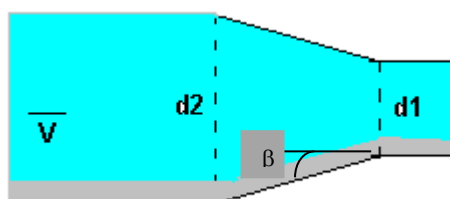


TABLA DE VALORES DE LA CONSTANTE K										
α°	5°	10°	20°	30°	35°	40°	50°	60°	70°	80°
k	0.05	0.29	1.56	5.47	11.38	17.3	52.6	206	485	inf

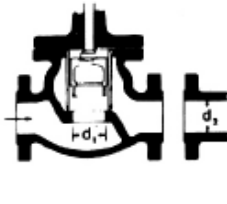

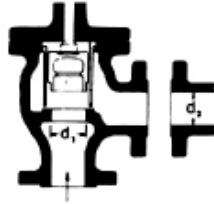
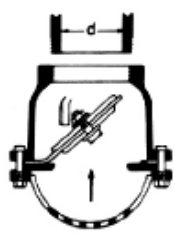
- SECCIÓN DE CONTRACCIÓN



Si $\beta < 45$

$$K = 0.8 * \text{Sen} \left(\frac{\beta}{2} \right) + \left[1 - \left(\frac{d1}{d2} \right)^2 \right]$$

TABLA DE VALORES DE LA CONSTANTE K PARA ACCESORIOS

TABLA DEL FACTOR "K" Coeficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios	
VÁLVULAS DE RETENCIÓN Y CIERRE (Tipos recto y angular)	VÁLVULAS DE PIE CON FILTRO Obturador ascendente Obturador oscilante
	
<p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 400 f_T$</p> <p>Si: $\beta < 1 \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$</p> <p>Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador</p> <p>$m/\text{seg} = 70 \beta^2 \sqrt{V}$</p> <p>$\text{pie}/\text{seg} = 55 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	<p>$K = 420 f_T$</p> <p>Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador</p> <p>$m/\text{seg} = 20 \sqrt{V}$</p> <p>$\text{pie}/\text{seg} = 15 \sqrt{V}$</p>
	
<p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 200 f_T$</p> <p>Si: $\beta < 1 \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$</p> <p>Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador</p> <p>$m/\text{seg} = 95 \beta^2 \sqrt{V}$</p> <p>$= 75 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	<p>$K = 75 f_T$</p> <p>Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador</p> <p>$m/\text{seg} = 45 \sqrt{V}$</p> <p>$= 35 \sqrt{V}$</p>

VÁLVULAS DE MACHO Y LLAVES

Paso directo

tres entradas

Vista X-X

Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 18 f_T$

Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 30 f_T$

Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 90 f_T$

Si: $\beta < 1$ $K_1 = \text{Fórmula 6}$

CURVAS EN ESCUADRA O FALSA ESCUADRA

α	K
0°	2 f_T
15°	4 f_T
30°	8 f_T
45°	15 f_T
60°	25 f_T
75°	40 f_T
90°	60 f_T

CURVAS Y CÓDOS DE 90° CON BRIDAS O CON EXTREMOS PARA SOLDAR A TOPE

r/d	K	r/d	K
1	20 f_T	8	24 f_T
1.5	14 f_T	10	30 f_T
2	12 f_T	12	34 f_T
3	12 f_T	14	38 f_T
4	14 f_T	16	42 f_T
6	17 f_T	20	50 f_T

El coeficiente de resistencia K_{90} para curvas que no sean de 90° puede determinarse con la fórmula:

$$K_B = (n - 1) \left(0.25 \pi f_T \frac{r}{d} + 0.5 K \right) + K$$

n = número de curvas de 90°

K = coeficiente de resistencia para una curva de 90° (según tabla)

CURVAS DE 180° DE RADIO CORTO

$K = 50 f_T$

**FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR "K" PARA VÁLVULAS
Y ACCESORIOS CON SECCIONES DE PASO REDUCIDO**

Fórmula 1

$$K_2 = \frac{0.8 \left(\frac{\sin \frac{\theta}{2}}{2} \right) (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 2

$$K_2 = \frac{0.5 (1 - \beta^2) \sqrt{\frac{\sin \frac{\theta}{2}}{2}}}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 3

$$K_2 = \frac{2.6 \left(\frac{\sin \frac{\theta}{2}}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 4

$$K_2 = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 5

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 1} + \text{Fórmula 3}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \sin \frac{\theta}{2} [0.8 (1 - \beta^2) + 2.6 (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Fórmula 6

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + 0.5 \sqrt{\frac{\sin \frac{\theta}{2}}{2}} (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Fórmula 7

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \beta (\text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}), \text{ cuando } \theta = 180^\circ$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \beta [0.5 (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

$$\beta = \frac{d_2}{d_1}$$

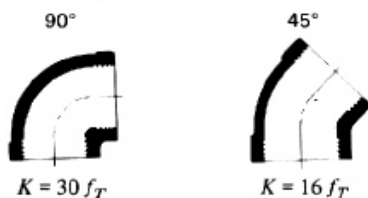
$$\beta^2 = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 = \frac{a_2}{a_1}$$

El subíndice 1 define dimensiones y coeficientes para el diámetro menor.
El subíndice 2 se refiere al diámetro mayor.

**FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS,
DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA**

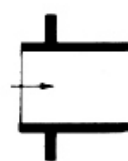
Diámetro Nominal	mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200, 250	300-400	450-600
	pulg.	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8, 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f_T)		.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

CODOS ESTÁNDAR



ENTRADAS DE TUBERÍA

Con resalte hacia el interior

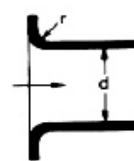


$$K = 0.78$$

r/d	K
0.00*	0.5
0.02	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
0.15 y más	0.04

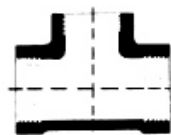
*de cantos vivos

A tope



Véanse los valores de K en la tabla

CONEXIONES ESTÁNDAR EN "T"

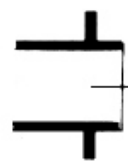


Flujo directo $K = 20 f_T$

Flujo desviado a 90° .. $K = 60 f_T$

SALIDAS DE TUBERÍA

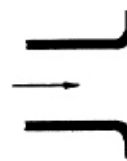
Con resalte De cantos vivos Redondeada



$$K = 1.0$$



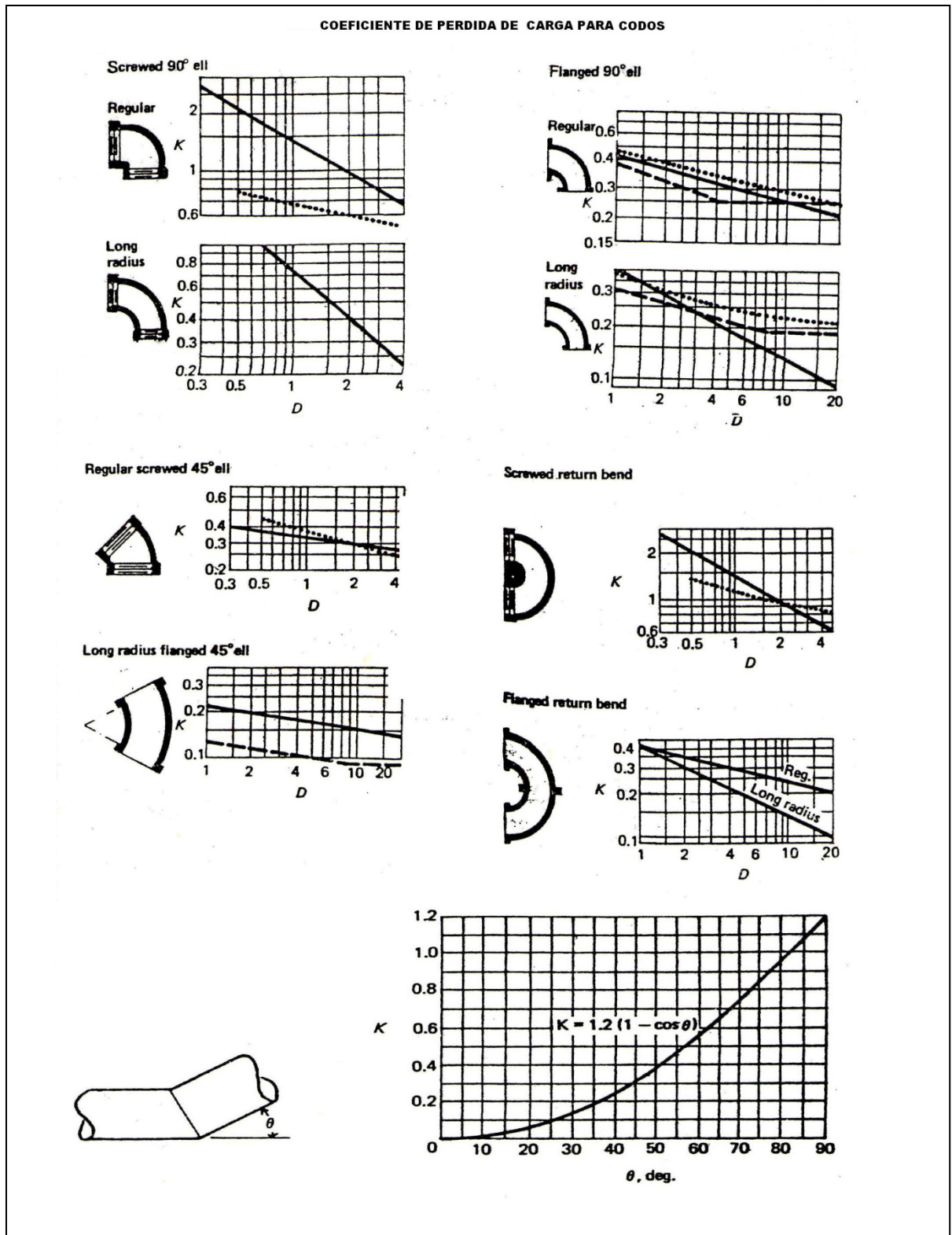
$$K = 1.0$$



$$K = 1.0$$

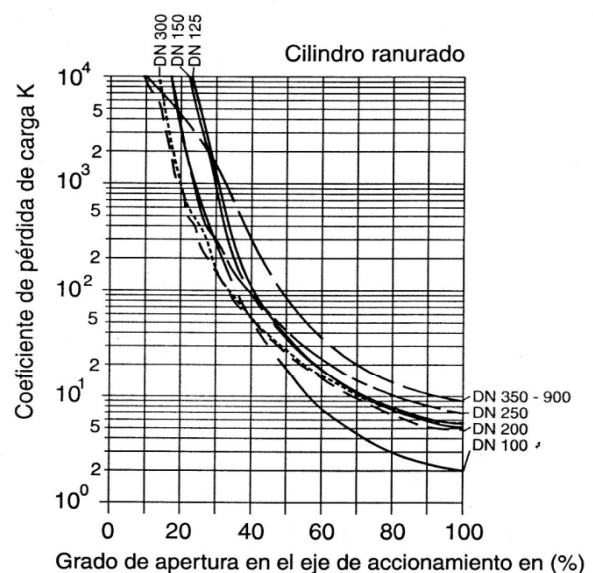
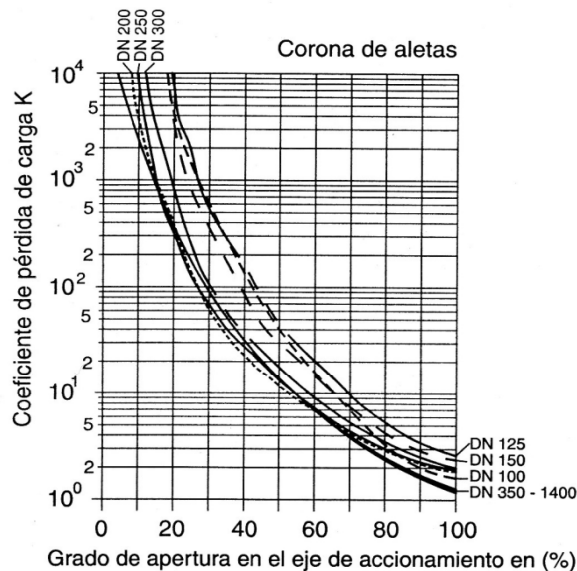
ANEXO 7

DIAGRAMA DE LOS VALORES DE LA CONSTANTE K PARA CODOS



Valvulas de paso anular ERHARD las valvulas ideales de regulaci3n

Coefficientes de p3rdida de carga K para v3lvulas de paso anular ERHARD instaladas en tubería cerrada y bajo flujo en direcci3n de la flecha marcada en el cuerpo.



Coefficientes de pérdida de carga K en posici3n abierta

DN	K Corona de aletas	K Cilindro ranurado
100	1,6	2,0
125	3,0	6,6
150	2,7	7,1
200	2,0	6,2
250	2,1	9,2
300	2,2	6,9
350 - 700	1,5	9,0
800 - 900	1,4	9,0
1000	1,3	-
1200-1400	1,1	-

Notas:

- Los diagramas unicamente son v3lidos en caso de servicio sin cavitaci3n.
- Los valores han sido determinados mediante ensayos y est3n sujetos a tolerancias seg3n las directrices VDI/VDE 2173.
- Sobre demanda, les suministramos valores y curvas para v3lvulas de paso anular con cilindro ranurado a partir del DN 1000.

Mediante los valores **K** arriba, pueden calcularse los valores siguientes:

Valor K_v

$$K_v = 0,0396 \cdot \frac{DN^2}{\sqrt{K}}$$

Con:

K_v = [m³/h]

DN = [mm]

K = [de los diagramas arriba]

P3rdida de carga:

$$\Delta p = K \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

Con:

Δp = [Pa] (10⁵ Pa ≅ 1bar ≅ 9,81mCA)

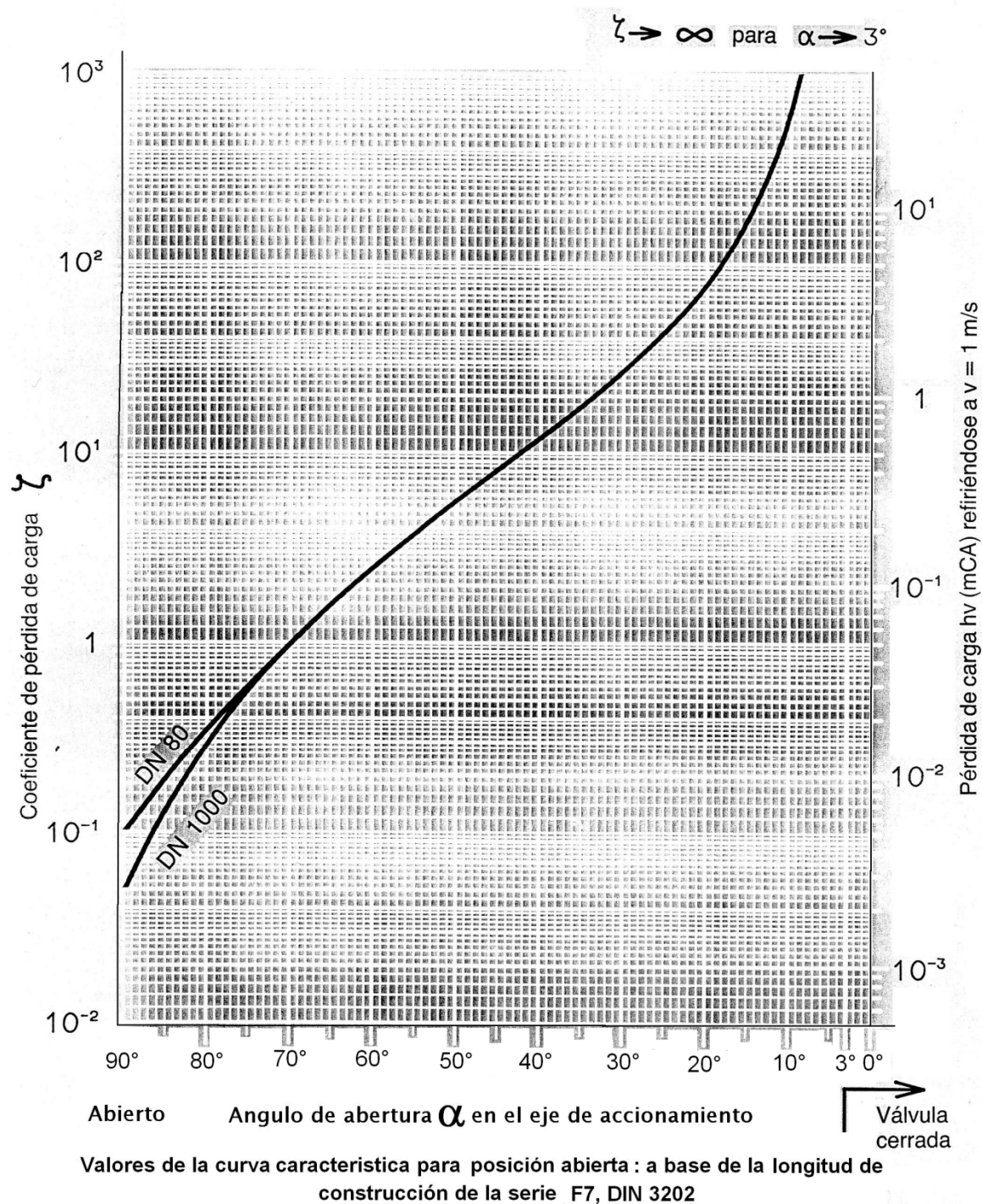
v = [m/s] refiri3ndose al DN

K = [de los diagramas arriba]

ρ = [kg/m³]

El valor K_v indica el caudal de agua en m³/h pasando por una v3lvula bajo una temperatura de 5 - 30° C y una p3rdida de carga de 1 kp/ cm² (0,981 · 10⁵ Pa o 0,981 bar). (V3ase tambi3n directrice VDI/VDE 2173.)

Válvulas esféricas ERHARD, patentes alem. e intern. Pérdidas de carga y coeficientes de pérdida de carga



DISPOSICION DE LAS PALANCAS

Para tuberías horizontales

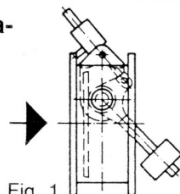


Fig. 1
a la izquierda en el
sentido del flujo

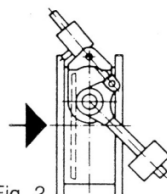


Fig. 2
a la derecha en el
sentido del flujo

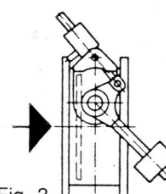


Fig. 3
en ambos lados

Para tuberías verticales, flujo ascendente

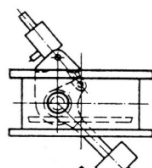


Fig. 4

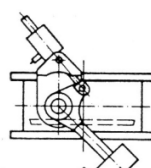


Fig. 5

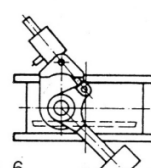


Fig. 6
en ambos lados

Para tuberías verticales, flujo descendente

Al ordenar el pedido indiquen la disposición de la palanca según número de la figura

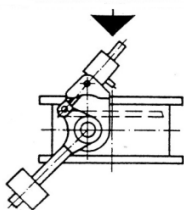


Fig. 7

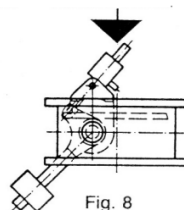


Fig. 8

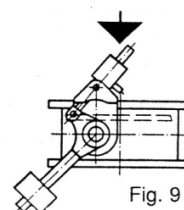


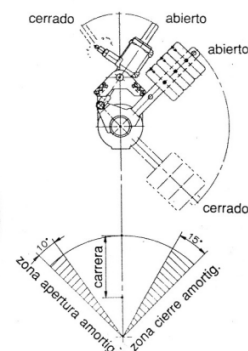
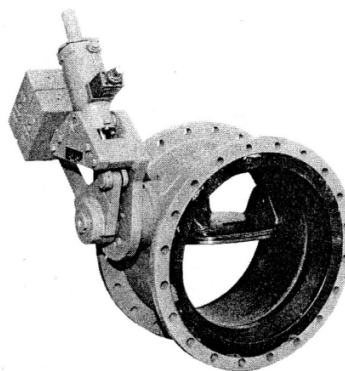
Fig. 9
en ambos lados

Diseño con cilindro amortiguador para la regulación del tiempo de cierre

Este modelo se utiliza en los casos siguientes:

- Se permite el reflujo y la válvula debe cerrarse con retraso. El tiempo de cierre se regula exactamente por medio de una válvula reguladora del flujo independiente de la viscosidad.
- Se desea una atenuación eficiente de los golpes de la válvula. El freno de aceite reacciona en ambas posiciones finales y estabiliza los movimientos del disco a lo largo de su total desplazamiento los cuales normalmente son causados por el flujo.

Si el modelo standard está equipado con un cilindro amortiguador, la contrapresión admisible se ve limitada - debido a la dimensión y el material del eje - a los valores siguientes:



Modelos para otras contrapresiones bajo pedido

DN	150	200	250	300	350	400	500	600
Contrapresión max. adm. en bar	12,5	14,5	7,1	8,5	5,4	3,6	3,3	3,2

Acreditado en el uso

Las válvulas de mariposa ERHARD de probada eficacia se emplean para:

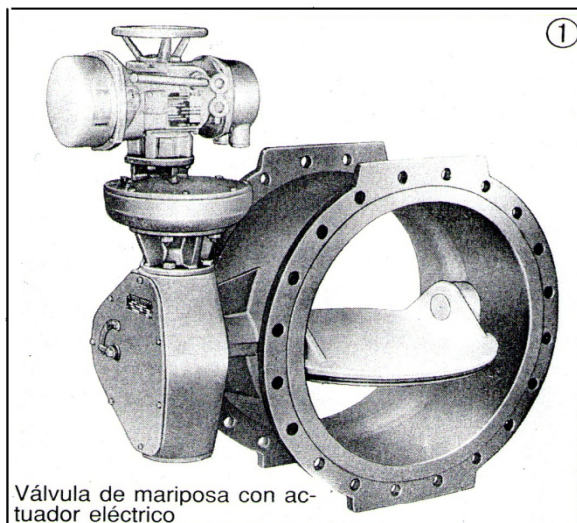
Aislamiento, regulación, estrangulación, control y seguridad en instalaciones para la producción, el abastecimiento y la distribución de agua, en instalaciones de riego, en embalses y depósitos de retención, en instalaciones hidroeléctricas, en centrales termoeléctricas, en instalaciones para agua caliente y refrigerante, líneas para calefacción centralizada, en instalaciones para el tratamiento de agua salada, en instalaciones para la técnica de aguas residuales, en instalaciones de abastecimiento y distribución de gas, en la industria química y petroquímica etc.

Por ejemplo:

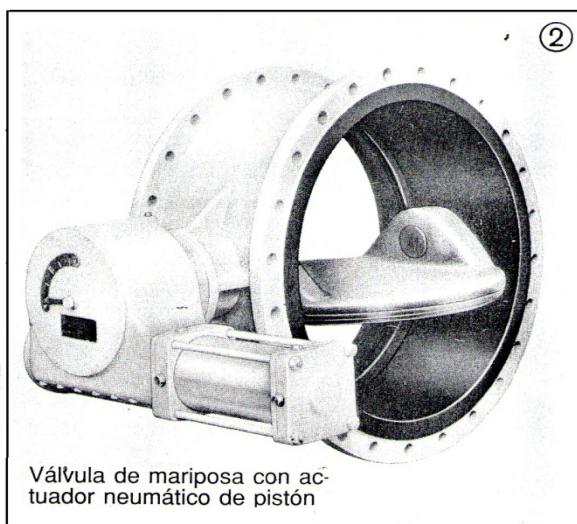
Válvula de aislamiento para control del caudal
descarga de fondo
válvula de inspección
dispositivo de seguridad en caso de rotura de tubos
válvula entrada turbina
válvula de cierre rápido o de apertura rápida
válvula combinada de retención y aislamiento en la descarga de las bombas
válvula para impedir el refluo en posición abierta durante el funcionamiento de la bomba y para aislar cuando esté parada o se produzca un fallo.

Para los fluidos siguientes:

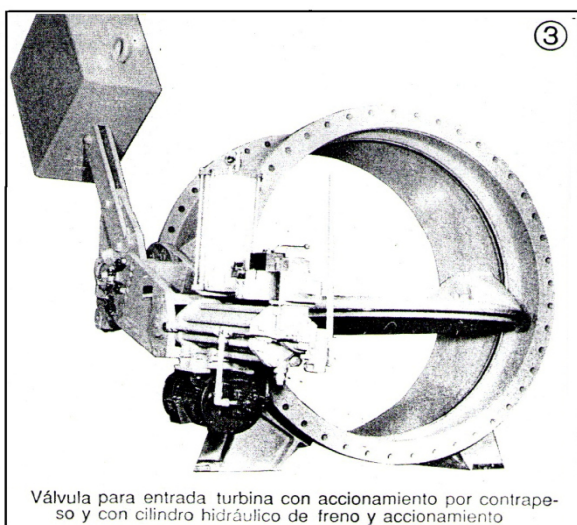
Agua fría, agua caliente, agua salada, agua residual, agua salobre, agua sucia, salmuera, hidrocarburos aromáticos, gasolina, benceno, aceite combustible, lejías, gas natural, gas de alto horno, gases de humo, aguas salinas cloradas y ozonizadas, agua, aire, oxígeno, aguas incrustantes, bebidas, alimentos, emulsión de cal, etc.



Válvula de mariposa con actuador eléctrico

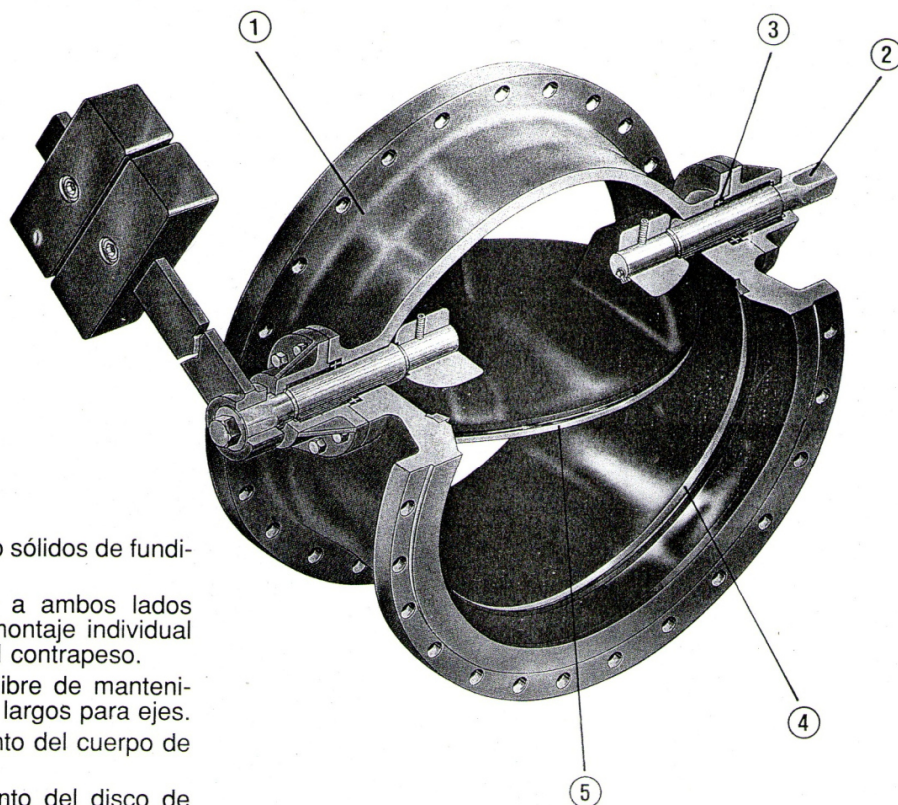


Válvula de mariposa con actuador neumático de pistón



Válvula para entrada turbina con accionamiento por contrapeso y con cilindro hidráulico de freno y accionamiento

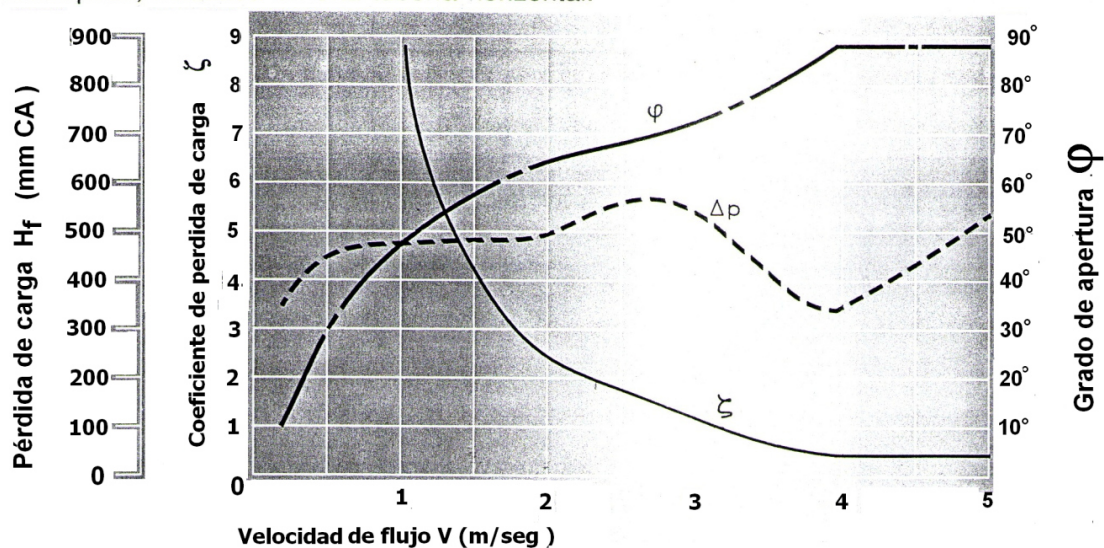
Ventajas



- ① Disco y cuerpo sólidos de fundición dúctil.
- ② Ejes saliendo a ambos lados para facilitar el montaje individual de la palanca del contrapeso.
- ③ Sello del eje libre de mantenimiento. Soportes largos para ejes.
- ④ Anillo de asiento del cuerpo de acero inoxidable.
- ⑤ Anillo de asiento del disco de acero inoxidable con sello de precisión elástico.

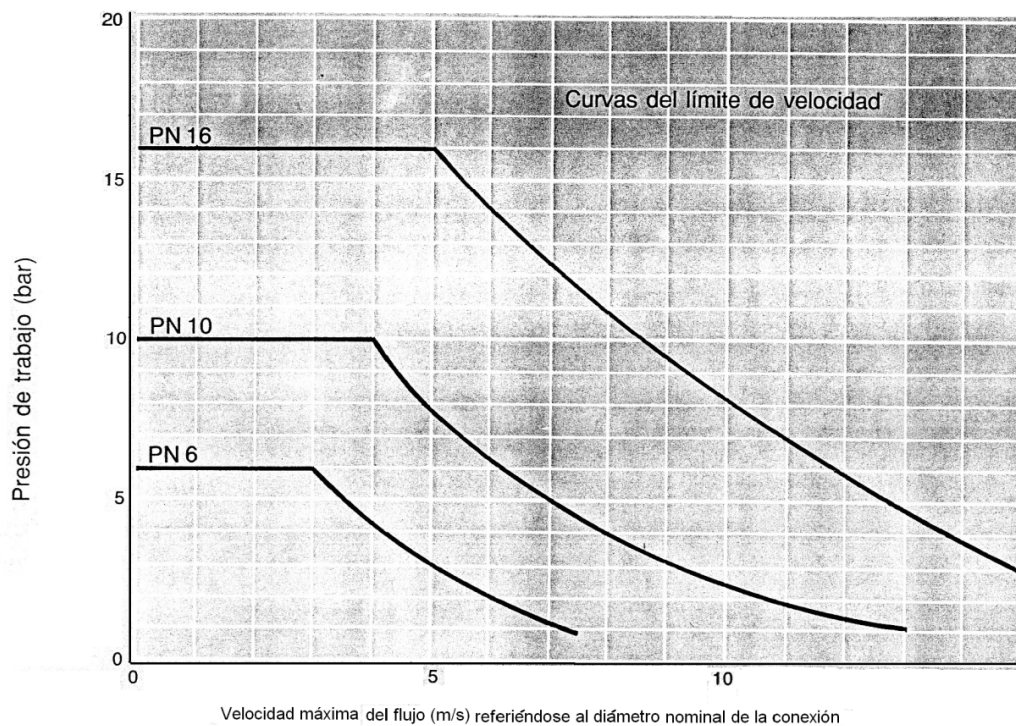
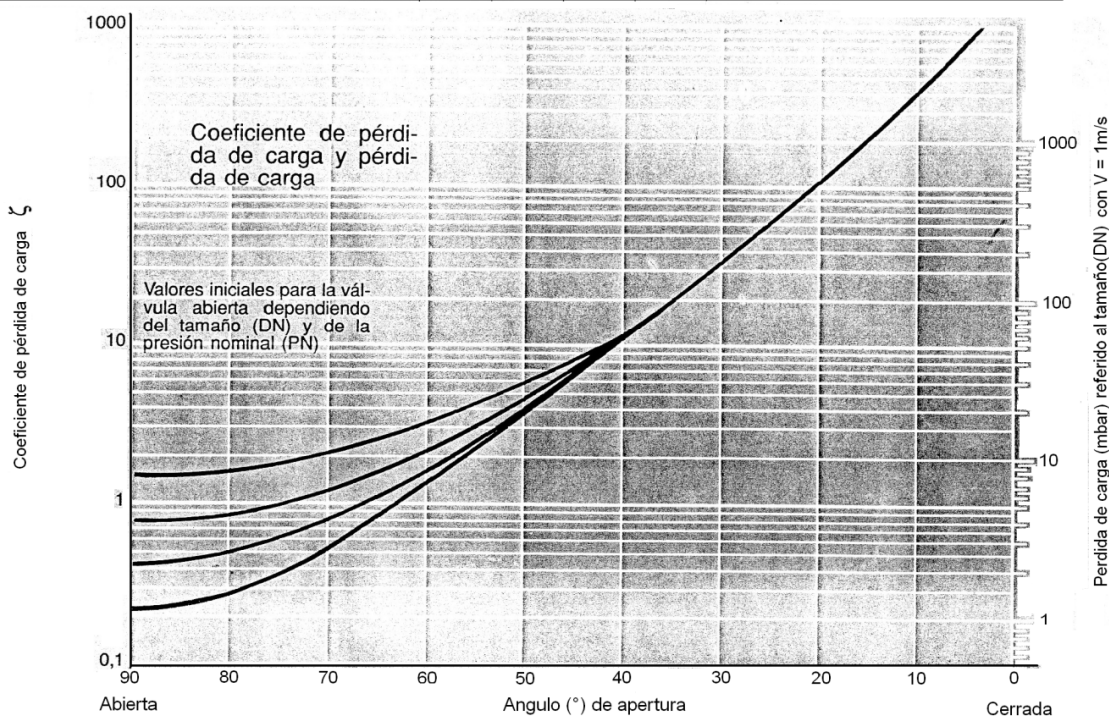
Curvas obtenidas por medición

Curva característica de una válvula de retención ERHARD DN 500, PN 10, con palanca y contrapeso, instalada en una tubería horizontal.



Coeficiente de pérdida de carga ζ para Válvula de mariposa ERHARD completamente abierta

DN	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600
PN 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.24	0.24	0.22
PN 10	—	0.75	0.65	0.60	0.50	0.45	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.32	0.30	0.28
PN 16	1.50	1.00	0.80	0.70	0.66	0.64	0.62	0.60	0.55	0.55	0.50	0.45	0.40	0.38



BIBLIOGRAFIA

- MANUAL : Maniobras en Tuberías Forzadas - EDEGEL S.A.A. (2008)
Vaciado y llenado
Centrales Huinco y Matucana
- INFORME : Análisis de muestras sólidos adheridos en las Tuberías Forzadas de las C. H. Huinco , Matucana , Moyopampa EDEGEL S.A.A. (2009)
- Libro : Maquinas Hidráulicas EDEGEL S.A.A. (1988)
Departamento de Capacitación (antes Electrolima)
- Planos CH. Huinco: EDEGEL S.A.A.
Tramo final galería a presión
Tubería a presión perfil longitudinal
Tuberías de distribución
- Plano CH. Matucana: EDEGEL S.A.A.
Tramo final galería a presión
- Libro: Manual de Diseño de obras civiles – (México 1970)
Sección E Hidráulica ..
 - (Cuadro de rugosidades de materiales de un conducto)
 - (Diagrama de pérdidas en codos)
- Tablas y gráficos de mecánica de fluidos (1983)
Pontificia Univ. Católica del Perú
Facultad de Ing. Mecánica
- Libro :Mecánica de Fluidos
Merle C. Potter – David C. Wiggert
- Libro :Mecánica de Fluidos
Munson Yang Okiishi

-
- Fundamentos de la Mecánica de Fluidos
Victor C. Streeter , Benjamin Wyle ,Keith Bedford

LIBROS, INFORMES DIGITALES

- Departamento de Ingeniería Energética
Laboratorio de Mecánica de Fluidos
Práctica 2 : Perdida de carga
Madrid - España (2002)
- Laboratorio de Termofluidos
Práctica 4: Estudio de Perdida de carga
Autor : Sergio de la Peña López
- Ingenieros Consultores S.I.
Folleto : Tuberías
Bilbao España (2004)
- Universidad de Castilla
Escuela Universitaria de Ing., Agrícola Ciudad Real (Castilla – España)
Libro : Tuberías Forzadas y las pérdidas de carga
- Libro : Flujo en Tuberías
Tema : Perdidas de carga debidos a la fricción
Autor : Luis Emilio Pardo Aluma
- Manual : Flujo de Tuberías a presión
Empresa Tuberías y conexiones RIVAL
(2000)